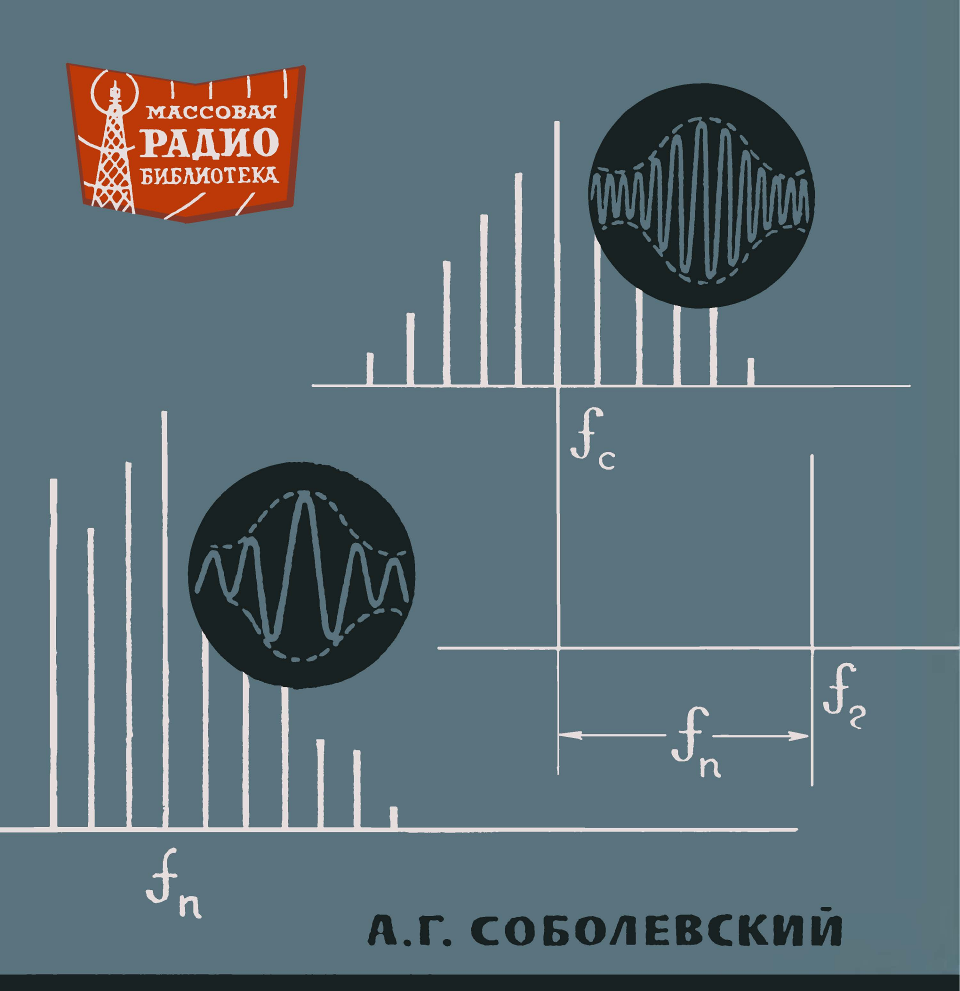


А. Г. СОБОЛЕВСКИЙ

Я СТРОЮ СУПЕРГЕТЕРОДИН

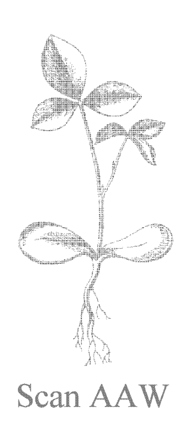
·ЭНЕРГИЯ·

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 630

А. Г. СОБОЛЕВСКИЙ

Я СТРОЮ СУПЕРГЕТЕРОДИН



Scan AAW



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1967

УДК 621.396.621.324

Редакционная коллегия:
Берг А. И., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Геништа Е. Н., Жеребцов И. П., Канаева А. М., Корольков В. Г., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Шамшур В. И.

Соболевский А. Г.

С54 Я строю супергетеродин. М., «Энергия», 1967. 128 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 630). 150000 экз. 38 к.

В книге в популярной форме рассказано о наиболее распространенном радиоприемнике-супергетеродине. Приведены схемы отдельных блоков, простейшие формулы, позволяющие подсчитать параметры будущего приемника. Рассказано о принципах конструирования ламповых и транзисторных супергетеродинных приемников, много места уделено их налаживанию. Предназначена для радиолюбителей, имеющих некоторый опыт сборки и налаживания приемников.

3-4-5 / 352-66 6Ф2.12

НАЧНЕМ С ПРИЕМНИКА ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

Помню, когда я сделал свой первый ламповый приемник прямого усиления (транзисторов тогда еще не было) и добился его хорошей работы, то был страшно горд. Вечерами я наслаждался, «вылавливая» самые дальние радиостанции. Но когда новизна впечатлений прошла, я заметил, что приемник работает далеко не так хорошо, как этого хотелось бы. Прием многих дальних станций сопровождался свистами, хрипами, иногда одновременно были слышны две радиостанции, причем настроиться на них раздельно не удавалось. Были и другие неприятные явления — в основном они сводились к искажению радиопередачи.

И странное дело — тщательное налаживание не приводило к улучшению работы приемника. Провозившись несколько дней, я понял, что одной только регулировкой приемника ничего не добьешься. Видимо, причина появления искажений была в чем-то другом, может быть в самом принципе работы приемника прямого усиления?

Я думаю, не надо доказывать, что качество радиоприемника определяется прежде всего естественностью звучания радиопередачи и отсутствием помех. А какое звучание будет восприниматься как естественное? Очевидно, то, которое содержит все звуки, присущие человеческому голосу или музыкальному инструменту, причем важную роль играют так называемые обертоны (высшие тоны), создающие звуковую «окраску» — тембр голоса или музыкального инструмента. Изменение привычной окраски звука воспринимается ухом как искажение звучания.

Если разложить звук человеческого голоса или музыкального инструмента на составляющие его колебания — получить его частотный спектр, то окажется, что, кроме колебания основной частоты, определяющего высоту звука, звучание голоса или музыкального инструмента, он состоит из множества колебаний, самых различных по частоте и амплитуде, хотя и меньших по амплитуде, чем основное колебание. Это и есть обертоны, определяющие «окраску» звука Поэтому, чтобы звучание было естественным, громкоговоритель приемника должен воспроизводить колебания всех этих частот.

Человек слышит звуки с частотами от нескольких герц до 12—15 *кгц*. Следовательно, чтобы радиопередача звучала естественно, приемник в принципе должен воспроизводить именно такой звуковой диапазон. Однако это удается осуществить (да и то не всегда) только в высококачественном радиовещании на УКВ. В радиовещании же на длинных, средних и коротких волнах приходится ограничиться более узким диапазоном передаваемых частот (о причинах

этого будет сказано ниже) примерно до 5—6 *кгц*. Но и такая радиопередача звучит достаточно естественно Однако если снизить высокочастотную границу до 2—3 *кгц*, то искажения уже заметны — звук становится тусклым

Давайте подробнее поговорим о модуляции высокочастотных колебаний. Вы, наверное, знаете, что существуют различные способы модуляции. В радиовещании наиболее распространена амплитудная модуляция, при которой низкочастотный (модулирующий) электрический сигнал воздействует на амплитуду высокочастотного сигнала передатчика, называемого обычно сигналом несущей частоты. Амплитуда высокочастотных колебаний несущей частоты изменяется в такт с изменениями модулирующего сигнала. На рис. 1 вверху показан график сигнала несущей частоты передатчика в то время, когда модуляция отсутствует. Но как только появится модулирующий сигнал звуковой частоты, форма огибающей высокочастотного напряжения * становится в точности похожей на форму звукового модулирующего сигнала.

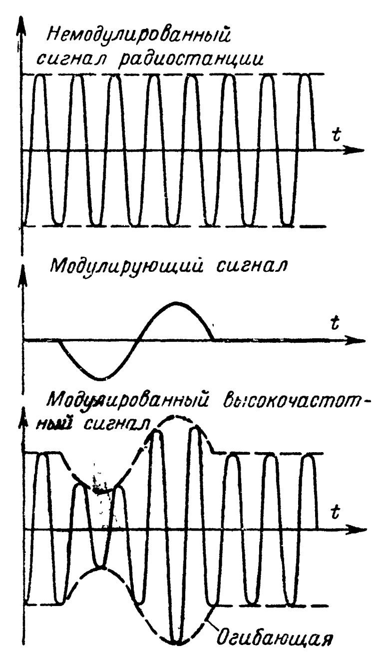


Рис. 1. Принцип амплитудной модуляции.

Однако дело не только в изменении амплитуды высокочастотной несущей. Когда модуляции нет, радиостанция излучает только колебания одной частоты — высокочастотной несущей, например 100 *кгц*. Но как только началась модуляция, например сигналом с частотой 1 *кгц*, то, кроме колебаний с частотой 100 *кгц*, в спектре сигнала появятся колебания еще двух частот, отстоящих от основного колебания на —1 *кгц* и +1 *кгц* **. Следовательно, можно считать, что радиостанция излучает теперь колебания уже трех частот: 99, 100 и 101 *кгц*. При передаче же всего принятого в радиовещании спектра звуковых частот, т. е. примерно до 5 *кгц*, радиостанция во время передачи излучает не только колебания несущей частоты 100 *кгц*, но целый спектр колебаний с частотами от 100—5= =95 *кгц* до 100+5=105 *кгц* (рис. 2). Заметим при этом, что чем выше звуковая модулирующая частота, тем дальше от несущей отсто-

* **Огибающей** называется мысленно проведенная кривая (на рис. 1 показана пунктиром), соединяющая амплитудные значения модулированного высокочастотного сигнала.

** При сложении немодулированных высокочастотных колебаний с частотами 99, 100 и 101 *кгц* результирующие колебания как раз имеют вид модулированного сигнала, показанного на рис. 1.

ит соответствующая ей линия спектра модулированных высокочастотных колебаний. Общая ширина спектра составит 105—95=10 *кгц*. Если сигналы с такими частотами пройдут через высокочастотные блоки приемника, то после детектора будут восстановлены низкочастотные электрические колебания с частотами до 5 *кгц*, а в громкоговорителе появятся звуковые колебания с такими же частотами.

Но для этого высокочастотные блоки приемника должны пропускать не только сигнал несущей частоты радиостанции, а целый спектр высокочастотных колебаний в пределах ±5 *кгц* от несущей (рис 2). Однако как же они «отличат» колебания нужной радиостанции от колебаний других радиостанций? Очевидно, что для это-

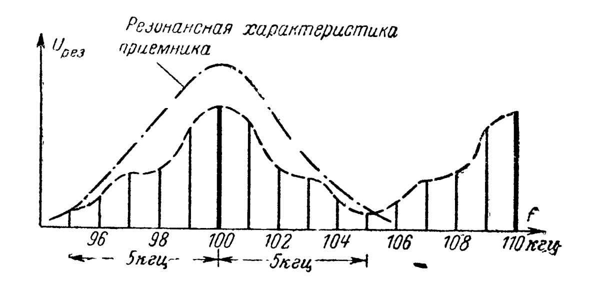


Рис. 2 При амплитудной модуляции радиостанция излучает спектр боковых частот шириной 10 *кгц*.

го несущие частоты радиостанций должны отстоять друг от друга по частоте не менее чем на 10 *кгц*. Тогда сигналы «чужих» радиостанций не попадут в радиоприемник при настройке его на частоту данной радиостанции.

Но появляется еще одна проблема· спектр колебаний данной радиостанции должен проходить через приемник без искажений, т. е. приемник должен принять и усилить эти колебания одинаково, не ослабляя им амплитуд друг относительно друга.

Припомним, как работает одиночный колебательный контур *LC*. На сигнал основной (резонансной) частоты $f_{рез}$ он реагирует с наибольшей силой, а на сигналы других частот — все слабее и слабее (рис. 3). Поэтому крайние составляющие спектра сигнала (соответствующие звуковым колебаниям высоких частот) проходят через колебательный контур ослабленными и, следовательно, воспроизведение радиопередачи оказывается искаженным. Таким образом, через одиночный колебательный контур нельзя равномерно пропустить все составляющие модулированного сигнала.

Но ведь можно уменьшить искажения составляющих спектра сигнала, соответствующих высшим звуковым частотам, расширив полосу пропускания контуров. Тогда амплитуды крайних составляющих будут менее ослаблены по сравнению с колебаниями несущей частоты, и искажения радиопередачи уменьшатся. Однако с увеличением полосы пропускания контуров они начнут пропускать сигналы радиостанций, работающих на близких частотах.

Приходится сделать вывод: требование высокого качества воспроизведения сигнала данной радиостанции и хорошей **избирательности** (т. е. хорошего отсеивания сигналов посторонних радиостанций) — взаимно противоположны.

Попробуем определить, как удовлетворяет этим требованиям приемник прямого усиления. Как сделать, чтобы приемник прямого усиления обладал хорошей избирательностью, т. е. обеспечивал хорошую отстройку от соседних по частоте радиостанций? Очевидно, для этого на пути высокочастотного модулированного сигнала к детектору нужно поставить как можно больше колебательных контуров, настраиваемых на частоту принимаемого сигнала. Каждый настроенный колебательный контур ослабляет сигналы с частотами, отличающимися от резонансной. Чем больше таких фильтров, тем значительнее будут ослаблены сигналы соседних по частоте радиостанций и тем выше будет избирательность приемника.

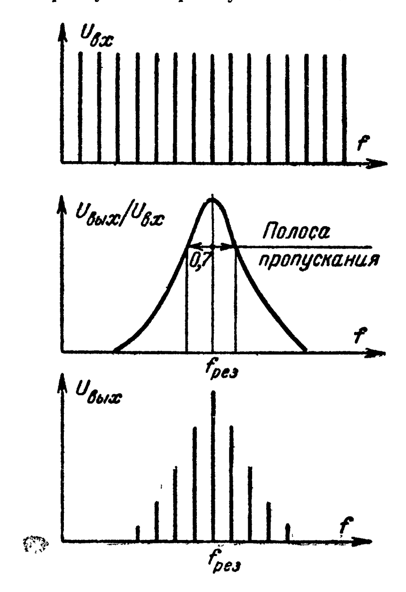


Рис. 3. Чем дальше за пределами полосы пропускания находится сигнал, тем сильнее он ослаблен.

При перестройке приемника на другую радиостанцию все колебательные контуры придется перестраивать. Однако добиться того, чтобы большое число колебательных контуров имело совершенно одинаковые параметры, очень трудно. Поэтому при перестройке контуров общей ручкой блока конденсаторов переменной емкости настройка контуров неизбежно «расходится». В результате полоса пропускания увеличивается, а следовательно, и ухудшается избирательность приемника. Кроме того, при этом уменьшаются усиление приемника и его чувствительность к сигналам в приемной антенне. Ведь колебания в контуре имеют наибольшую амплитуду на резонансной частоте, и если резонансная частота какого-либо контура сдвинута относительно частоты сигнала, то контур реагирует на его колебания слабее, чем в случае, когда резонансная частота совпадает с частотой сигнала.

Но предположим, что все же удалось так точно изготовить колебательные контуры и блок конденсаторов настройки, что при перестройке все колебательные контуры настраиваются на одну и ту же частоту. Все равно, это не спасет положения.

Дело в том, что полоса пропускания контура зависит от частоты, на которой он работает, причем чем выше частота, тем шире полоса пропускания:

$$\Delta f = \frac{f}{Q},$$

где Δf — полоса пропускания; f — частота, на которой работает контур; Q — добротность колебательного контура[1].

Как видно из приведенной формулы, при перестройке колебательного контура на более высокие частоты f полоса пропускания его расширяется, а при перестройке на более низкие — сужается (добротность контура Q при этом практически не изменится). Если в середине диапазона полоса пропускания выбрана такой, что обеспечено достаточно естественное воспроизведение передачи, а помехи со стороны других радиостанций незначительны, то на высокочастотном

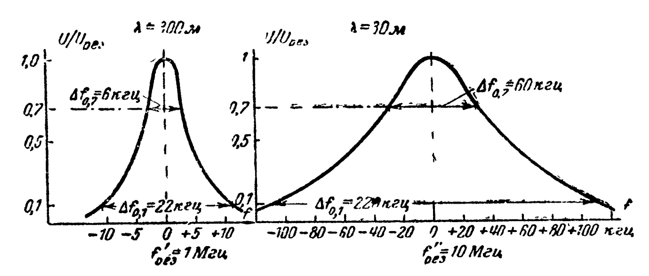


Рис. 4. Резонансные характеристики колебательных контуров на частотах $f'_{рез} = 1$ *Мгц* и $f''_{рез} = 10$ *Мгц*.

конце диапазона полоса пропускания может стать слишком большой, и помехи от других радиостанций сделаются очень заметными. Наборот, на низкочастотном конце диапазона полоса пропускания может снизиться настолько, что ухудшится естественность воспроизведения радиопередачи.

Выше было сказано, что полоса пропускания должна составлять около 10 *кгц*. Посмотрим, как с этой точки зрения обстоит дело в приемнике прямого усиления. Предположим, что приемник работает в диапазоне средних и коротких волн. Считая $Q = 160$, резонансную характеристику приемника построим для двух частот: для частоты 1 *Мгц* (средневолновый диапазон) и для частоты 10 *Мгц* (коротковолновый диапазон)[2]. Эти характеристики показаны на рис. 4. Здесь по одной оси отложены частоты f, а по другой — отношение напряжения U на выходе усилителя высокой частоты при заданной частоте f к напряжению $U_{рез}$ на частоте резонанса $f_{рез}$. Из характеристик видно, что чем выше резонансная частота $f_{рез}$, тем ширѐ полоса пропускания контура. Полосу пропускания принято отсчитывать на уровне, соответствующем ослаблению сигнала U не более чем до 0,7 от резонансного значения $f_{рез}$. Поэтому полосу пропускания обозначают обычно так: $\Delta f_{0,7}$.

Рассмотрим работу приемника на средневолновом диапазоне.

---

[1] Величина добротности Q характеризует отношение полной энергии, запасенной контуром, к той энергии, которая теряется в контуре за период $\left(Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}\right.$, где R — активное сопротивление контура).

[2] Длина волны λ в метрах связана с частотой колебаний f в мегагерцах зависимостью $\lambda = 300/f$.

Полоса пропускания приемника на частоте 1 *Мгц* составляет около 6 *кгц* (рис. 4). Конечно, такая полоса «узковата» (желательно иметь 10 *кгц*), но все же приемлема. Но это на уровне 0,7, а вот на уровне 0,1 полоса пропускания окажется равной 22 *кгц*. Это означает, что, если для радиостанции, несущая частота которой соответствует резонансной частоте колебательных контуров приемника $f_{рез}$, выходное напряжение принять за единицу, то сила сигналов радиостанций такой же мощности, отстоящих по несущей частоте на ± 10 *кгц* от частоты $f_{рез}$, будет лишь в 10 раз ослаблена по сравнению с сигналами основной радиостанции. Конечно, громкость их будет значительно меньше громкости основной радиостанции, но все они будут достаточно слышны. В хороших приемниках эти мешающие станции должны быть слышны в десятки и даже сотни раз тише.

Переключим теперь приемник прямого усиления на коротковолновый диапазон. На частоте 10 *Мгц* полоса пропускания $\Delta f_{0.7}$ составит 60 *кгц*. А нам нужно не более 10 *кгц*. Конечно, при такой широкой полосе пропускания все составляющие спектра полезного сигнала хорошо пройдут через приемник, но и избирательность приемника будет чрезвычайно низкой. Собственно, о какой избирательности в этом случае может идти речь, если в приемнике с одинаковой громкостью будут одновременно слышны шесть радиостанций, отстоящих по частоте на 10 *кгц* одна относительно другой. А полоса пропускания на уровне 0,1 составляет 220 *кгц*!

Самым лучшим с точки зрения избирательности и хорошего воспроизведения передачи будет такой радиоприемник, форма частотной характеристики которого П-образная — резонансная характеристика приемника по форме напоминает букву П (плоская вершина и отвесные боковые склоны). Если полоса пропускания при такой характеристике равна 10 *кгц*, то приемник будет принимать только основную радиостанцию и совершенно не будет принимать сигналы соседних по частоте радиостанций.

Теперь посмотрим, нельзя ли улучшить приемник прямого усиления и добиться того, чтобы он имел П-образную форму резонансной характеристики.

ПОПРОБУЕМ УЛУЧШИТЬ ПРИЕМНИК ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

Из сказанного выше ясно, что для улучшения избирательности приемника прямого усиления следовало бы вместо одиночных колебательных контуров включить в приемник систему контуров с П-образной частотной характеристикой. Попробуем это сделать.

Частотную П-образную характеристику можно получить, заменив одиночные резонансные контуры в приемнике прямого усиления группами из двух связанных контуров (рис. 5, *а*). Такие двухконтурные системы носят название полосовых фильтров с индуктивной (трансформаторной) связью. Фильтры называются **полосовыми** потому, что они при определенных условиях равномерно пропускают колебания определенной полосы частот, отсеивая остальные, не попадающие в их полосу пропускания. Ширина полосы пропускания, а также возможность отсеивания мешающих сигналов определяются добротностью контуров L_1C_1 и L_2C_2, а также величиной индуктивной связи (коэффициентом связи) между этими контурами. Форма частотной характеристики таких фильтров при различных коэффициентах связи показана на рис. 5, *б*. Кривая *1* соответствует слабой связи между контурами. Частотная характеристика в этом случае во мно-

гом напоминает по форме характеристику одиночного контура. Если связь увеличивать, например сближением контурных катушек, то крутизна склонов характеристики будет увеличиваться. При некоторой «критической» величине связи характеристика будет иметь вид кривой *2*, которая соответствует лучшему отфильтровыванию посторонних колебаний.

При связи между контурами выше «критической» на характеристике возникают два горба и появляется провал на резонансной частоте (кривая *3*), причем чем сильнее связь, тем значительнее высота горбов, тем глубже впадина в характеристике и тем больше расстояние между горбами. При связи чуть больше «критической» частотная

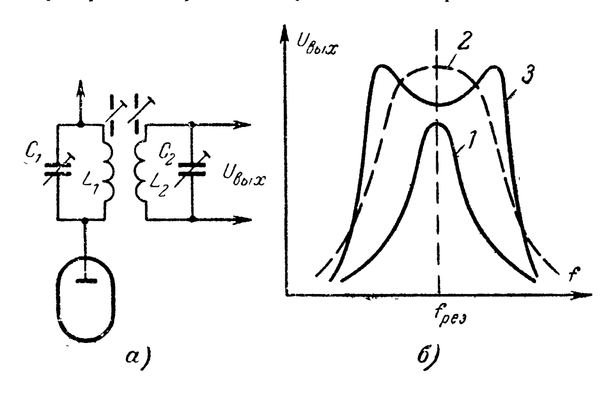


Рис 5. Принципиальная схема двухконтурного полосового фильтра и его резонансные характеристики.

характеристика полосового фильтра очень напоминает прямоугольную (П-образную), так как крутизна склонов характеристики велика, а провал почти не заметен.

Определим, почему форма частотной характеристики фильтра зависит от связи между контурами. Мы уже говорили, что коэффициент связи зависит от расстояния между катушками. При слабой связи лишь незначительная часть энергии переходит из контура, находящегося в первичной цепи, во второй контур. Поэтому передача напряжения из контура в контур незначительна. По мере увеличения связи эта передача напряжения растет и достигает наибольшего значения при некоторой величине связи, которую называют «критической».

При связи, превышающей критическую, во второй контур поступает все бо́льшая часть энергии источника колебаний. Второй контур начинает сильно шунтировать первый, и общее усиление уменьшается. Этим объясняется провал в характеристике на резонансной частоте. При некотором отходе от частоты резонанса баланс энергии улучшается за счет расстройки шунтирующего второго контура и это приводит к появлению подъемов характеристики (горбов), при которых усиление достигает того же значения, как и при критической связи.

Максимально допустимой связью принято считать такую, при которой провал доходит до величины $U/U_{рез}=0{,}7$ максимальной

высоты кривой, т. е. до уровня, на котором отсчитывается полоса пропускания. Такая связь дает наивыгоднейшую форму резонансной характеристики с точки зрения избирательности ввиду резкого спада характеристики на границах полосы пропускания.

При любой степени связи между контурами избирательность будет тем лучше, чем больше добротность контуров, так как при этом боковые ветви кривой отличаются более крутыми спадами. Но применять контуры с очень высокой добротностью не всегда возможно, так как это может привести к резкому сужению полосы пропускания, а следовательно, и к бо́льшим частотным искажениям сигнала. Это обстоятельство ставит предел повышению добротности контуров. В некоторых случаях для расширения полосы пропускания приходится даже нарочно ухудшать добротность контуров, шунтируя их резисторами.

Вот такие полосовые фильтры можно включить вместо обычных контуров в приемник прямого усиления. Можно так подобрать связь в фильтрах и добротности контуров, чтобы обеспечить нужную полосу пропускания и хорошую избирательность.

Что же, по идее все это правильно. Но вспомним, что при перестройке приемника с одной частоты на другую придется перестраивать и эти фильтры. А это очень сложно — ведь придется одновременно перестраивать шесть, а то и больше контуров. Да потом, с изменением частоты будет изменяться полоса пропускания полосового фильтра. Поэтому на низкочастотном конце диапазона она будет меньше требуемой, а на высокочастотном — больше необходимой. Конечно, можно изменять коэффициент связи при перестройке по диапазону и тем самым поддерживать полосу пропускания одинаковой по диапазону, но это еще более сложно, чем одновременно перестраивать несколько контуров. Таким образом, приемник превратится в чрезвычайно громоздкий и сложный аппарат.

Однако и это еще не все. Предположим, что приемник прямого усиления должен работать на коротковолновом диапазоне. В этом случае усиление принимаемого высокочастотного сигнала придется осуществлять в усилителе высокой частоты. Но усиливать высокочастотные сигналы — дело не простое. На высоких частотах (особенно на частотах выше нескольких мегагерц) большую роль играют различные паразитные связи между каскадами усилителя. Эти связи приводят к самовозбуждению усилителя, т. е. усилитель превращается в генератор паразитных колебаний, создающих в конечном счете помехи в громкоговорителе. Сделать высокочастотный усилитель с большим коэффициентом усиления очень трудно. А это означает, что нельзя создать надежный приемник прямого усиления для коротковолнового диапазона с высокой чувствительностью, рассчитанный на прием дальних радиостанций.

Придется подумать о приемнике какой-то другой системы, в котором удалось бы устранить недостатки приемника прямого усиления. От полосовых фильтров мы не будем отказываться, они действительно обладают большими достоинствами. Но применить их удобно только в усилителе, который работает всегда на одной и той же частоте. Но как же тогда принимать сигналы различных радиостанций?

Вот если бы можно было каким-нибудь искусственным путем изменять в приемнике частоту сигнала, переводя ее в некоторую заранее известную частоту, одну и ту же для всех принимаемых радиостанций. Тогда можно было бы сигналы любых радиостанций

усиливать на одной и той же частоте при помощи усилителя с полосовыми фильтрами. Форма резонансной характеристики такого усилителя была бы П-образной, по ширине достаточной для получения естественного воспроизведения, а все мешающие сигналы были бы отсеяны.

Но как изменить частоту сигнала принятой радиостанции?

Вообще-то эта задача не такая уж сложная. Например, если «смешать» колебания частоты принимаемой радиостанции с колебаниями какой-либо другой частоты в специальном приборе-преобразователе, то в результате появятся новые колебания, частота которых равна разности частот «смешиваемых» сигналов.

Приемник, созданный по такой схеме, обладал бы замечательными возможностями. Действительно, форма его резонансной характеристики была бы П-образной ввиду применения полосовых фильтров. Он мог бы иметь большую чувствительность, так как усиление принимаемого сигнала осуществлялось бы двумя усилителями на разных частотах — на частоте сигнала — обычным усилителем высокой частоты, а затем усилителем с полосовыми фильтрами. Результирующее усиление было бы значительным, а самовозбуждение не появлялось бы ввиду усиления на двух различных частотах, причем основное усиление сигнала можно производить в полосовом усилителе.

Как же все это осуществить на практике?

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ — ОСНОВА СУПЕРГЕТЕРОДИНА

Оказывается, выход в следующем: преобразовать принимаемые колебания в колебания так называемой промежуточной частоты и на этой частоте с помощью полосых фильтров отсеять сигналы мешающих станций. Эта промежуточная частота одна и та же при любой радиостанции на любом диапазоне приемника. Именно поэтому на этой частоте можно применять полосовые фильтры с постоянной настройкой.

Но как преобразовать частоту принимаемой радиостанции в промежуточную? И как сделать, чтобы она была всегда одна и та же? Ведь принимаемые частоты разные.

Теперь речь пойдет о так называемом **супергетеродинном приемнике** (супергетеродине). Именно в приемнике такой системы частота принимаемого сигнала преобразуется в промежуточную, на которой и происходит основное усиление. Поэтому супергетеродинные приемники могут работать на любых диапазонах, в том числе коротковолновом и даже ультракоротковолновом, и обладают очень высокой чувствительностью.

Но усилитель промежуточной частоты не только усиливает сигнал, он же обеспечивает и высокую избирательность приемника. Именно в его фильтрах промежуточной частоты, обладающих почти П-образной формой резонансной характеристики, происходит отсеивание сигналов посторонних радиостанций. Поэтому, выбрав соответствующим образом добротность контуров усилителя промежуточной частоты и коэффициент связи в фильтрах, можно получить очень высокую избирательность супергетеродинного приемника, одинаковую на любом диапазоне.

Прежде всего надо разобраться в работе преобразователя частоты — основном и наиболее специфическом блоке всякого супергетеродина.

Как следует из самого названия, этот блок преобразует колебания принимаемой частоты в колебания промежуточной частоты. Чтобы произвести такое преобразование, надо сигнал принимаемой радиостанции «смешать» с колебаниями специального высокочастотного генератора-гетеродина, имеющегося в приемнике. Такое «смешение» колебаний происходит в специальном приборе — **преобразователе частоты** (иногда его называют смесителем).

Однако не надо такое «смешение» понимать в буквальном смысле. Если смешать два колебания в так называемой линейной цепи (например, на резисторе), то никакого сложения или вычитания частот, а тем более никаких колебаний с новыми частотами не получится. Для преобразования двух колебаний — гетеродина $f_г$ и принимаемого сигнала $f_с$ в колебания с частотой $f_п$ их «смешение» надо производить в нелинейной цепи (запомните, это важно!). Простейшей нелинейной цепью может служить обыкновенный полупроводниковый диод. Его характеристика — зависимость тока через диод от приложенного к диоду напряжения — нелинейна. В области прямых напряжений, т. е. когда полярность напряжения совпадает с полярностью диода, нарастание тока через диод следует за нарастанием напряжения, а в области обратных напряжений диод заперт и ток уже не следует за нарастанием напряжения. Заметим, что нелинейной характеристикой обладают и все другие преобразователи, о которых будет рассказано ниже.

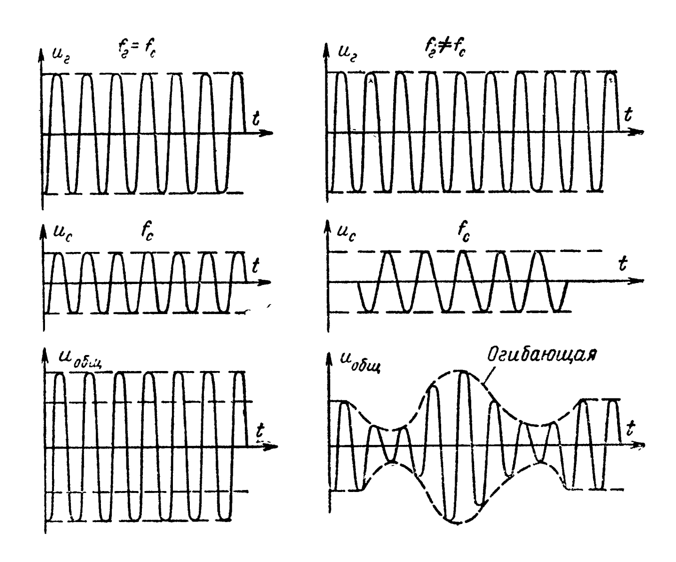


Рис. 6. К пояснению принципа преобразования частоты.

Теперь имейте в виду следующее: при воздействии на прибор с нелинейной характеристикой двух колебаний с разными частотами на выходе прибора возникают так называемые биения — колебания

разностной частоты $f_п=f_г-f_с$. Физически такие биения представляют собой периодическое (с частотой $f_п$) изменение амплитуды напряжения на выходе нелинейного прибора: от величины $U_г+U_с$ до величины $U_г-U_с$ (огибающая на рис. 6). Частота этого изменения амплитуды $f_п=f_г-f_с$ и является той промежуточной частотой, которая нам необходима.

Но надо заметить, что на выходе преобразователя возникают не только колебания разностной частоты $f_г-f_с$, но и колебания суммарной частоты $f_г+f_с$, и колебания с частотой гетеродина $f_г$, а также колебания с частотой сигнала $f_с$. К этому надо добавить, что в реальном приемнике на вход преобразователя подаются не только колебания с частотой сигнала $f_с$, но и другие сигналы и они тоже образуют биения с колебаниями гетеродина. Словом, на выходе преобразователя имеются колебания множества частот. Как же выделить необходимые нам колебания с частотой $f_п=f_г-f_с$?

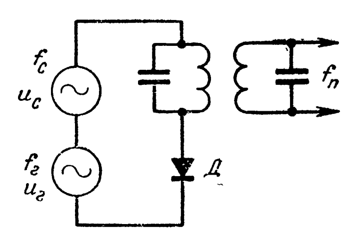


Рис. 7. Преобразование частоты на диоде.

Представьте, что на выходе преобразователя, в качестве которого, как мы выяснили, можно использовать полупроводниковый диод, включен колебательный контур, настроенный на частоту $f_п$ (рис. 7). Этот контур не окажет заметного сопротивления колебаниям с частотами сигнала и гетеродина, так как контур сильно расстроен относительно этих частот (он настроен на частоту $f_п=f_г-f_с$). Сигнал же с промежуточной частотой выделится на контуре, так как на этой частоте контур обладает значительным сопротивлением. Таким образом, на выходе фильтра возникает напряжение с промежуточной частотой $f_п$.

Диод и контур, настроенный на промежуточную частоту, образуют простейший **преобразователь частоты.**

Выше уже было сказано, что при амплитудной модуляции радиостанция излучает не только сигнал несущей частоты, но и целую полосу колебаний шириной $2F_в$ ($F_в$ — наивысшая частота модуляции). С каждым из этих колебаний колебания гетеродина образуют биения. Поэтому можно сказать, что и несущая частота радиостанции, и все боковые частоты, образующиеся при модуляции, преобразуются по частоте, причем несущая радиостанции превращается в номинальную (центральную) промежуточную частоту, а боковые частоты размещаются по обе стороны от нее (рис. 8).

Значит, при приеме амплитудно-модулированного высокочастотного сигнала после преобразования возникает амплитудно-модулированный сигнал промежуточной частоты. Огибающие высокочастотного сигнала и сигнала промежуточной частоты будут одинаковыми, а частота заполнения после преобразователя будет ниже (рис. 8).

Конечно, биения с колебаниями гетеродина образуют не только составляющие сигнала принимаемой радиостанции, а и все прочие высокочастотные сигналы других радиостанций, попавшие на вход преобразователя частоты, но контуры промежуточной частоты

пропустят только сигнал принимаемой радиостанции, ибо только этот сигнал попадает в полосу частот, пропускаемых усилителем промежуточной частоты.

На выходе усилителя промежуточной частоты (который может быть многокаскадным) в супергетеродинном приемнике, как и в приемнике прямого усиления, устанавливают обычный диодный детектор, который преобразует модулированный сигнал промежуточной

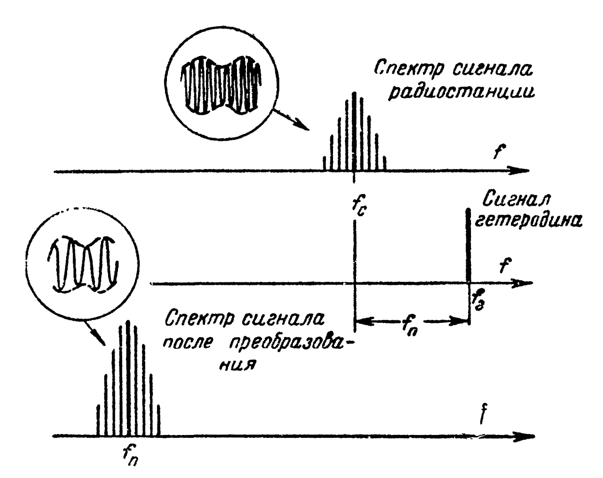


Рис. 8. Преобразователь преобразует в промежуточную не только несущую частоту радиостанции, но и весь спектр боковых частот.

частоты в электрические колебания звуковой частоты. Далее следуют каскады усиления звуковой частоты (их обычно называют усилителем низкой частоты) и громкоговоритель.

СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ

Итак, вы теперь знаете, как преобразовать принимаемую частоту в промежуточную. Но до сих пор мы говорили только о диодном преобразователе, а я должен сообщить вам, что в радиовещательных приемниках такой преобразователь не применяется. Преобразовательные каскады обычно строятся на специальных частотопреобразовательных лампах или транзисторах; принцип частотного преобразования на них тот же, что и в диодном преобразователе. Дело в том, что диодный детектор, который мы рассмотрели, выделяет колебания разностной частоты благодаря тому, что он обладает нелинейной характеристикой работы: пропускает ток в одном направлении и не пропускает в другом. Поэтому запомните: для преобразования частот необходим элемент с нелинейной характеристикой. Но такой характеристикой обладает не только диод.

Рассмотрим практические схемы преобразовательных каскадов радиовещательных супергетеродинных приемников. Диодные преобразователи частоты обычно применяют только на сверхвысоких частотах (сантиметровые и дециметровые волны), а на меньших частотах, на которых хорошо работают лампы и транзисторы, диоды в качестве преобразователей не применяют. Это объясняется тем, что, во-первых, при использовании диодов в качестве нелинейных элементов настройка гетеродинных контуров сильно зависит от настройки высокочастотных контуров, установленных перед смесителем (об этих контурах мы еще будем говорить) и, во-вторых, диодные преобразователи дают некоторое ослабление сигнала. Амплитуда напряжения промежуточной частоты на выходе диодного смесителя всегда оказывается меньше, чем амплитуда сигнала на входе (отношение этих амплитуд, называемое коэффициентом передачи преобразователя, для диодного детектора всегда меньше единицы: $K_{пр} = U_п/U_с < 1$, где $U_п$ — напряжеиие промежуточной частоты, а $U_с$ — напряжение сигнала радиостанции).

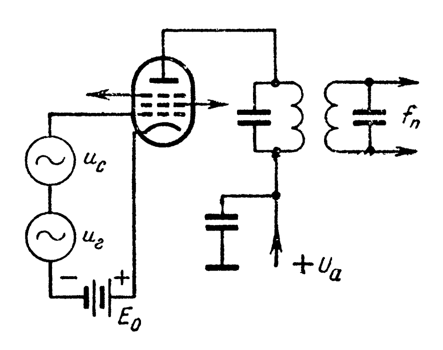


Рис. 9. Схема односеточного преобразователя частоты на пентоде.

Преобразователь будет одновременно являться и усилителем принимаемых сигналов, если вместо диода применить триод, а еще лучше — пентод (рис. 9). Такой преобразователь называют односеточным, потому что сигнал радиостанции и колебания гетеродина подают на одну и ту же сетку лампы. Если на сетку лампы подать напряжение гетеродина и принимаемого сигнала, то в составе анодного тока наряду с колебаниями частот сигнала и гетеродина при нелинейной характеристике лампы будут присутствовать колебания разностной частоты, которые выделятся фильтром промежуточной частоты, включенным в анодную цепь лампы.

Оценку преобразователя и режима, в котором работает лампа, производят по крутизне преобразования $S_{пр}$ [*ма/в*]. Крутизна преобразования обычно указывается в справочниках. Значение параметра $S_{пр}$ желательно иметь возможно бо́льшим, так как в этом случае коэффициент передачи ($K_{пр}=S_{пр}R_{рез}$) будет тоже больше, а, следовательно, преобразователь дает большее усиление сигнала. Крутизна преобразования у современных пентодов составляет примерно 1—2 *ма/в*. Резонансное же сопротивление контуров промежуточной частоты $R_{рез}$ при хорошей добротности достигает 5—20 *ком*. Отсюда коэффициент передачи $K_{пр}$ может быть порядка 10, а то и больше. Вспомните, что у диодного преобразователя этот коэффициент меньше единицы.

Заметим еще, что коэффициент передачи будет тем больше, чем значительнее амплитуда колебаний гетеродина, поступающих на сетку лампы преобразователя (при этом увеличивается амплитуда изменений анодного тока лампы). Поэтому напряжение гетеродина

должно быть достаточно большим — не менее 1 *в*. Однако лампа не должна работать в режиме отсечки анодного тока, а также нельзя допускать появления сеточного тока (размах положительных полупериодов не должен превышать напряжение смещения E_0). Кроме того, большое внимание надо обратить на стабильность частоты гетеродина, ведь от нее зависит настройка супергетеродинного приемника Любое отклонение частоты гетеродина от необходимой для приема данной радиостанции вызывает такое же по величине изменение частоты биений, образуемых колебаниями гетеродина и принимаемым сигналом. Если это изменение превысит величину полосы пропускания фильтров промежуточной частоты, то радиостанция перестанет быть слышимой. Однако значительное ухудшение приема данной радиостанции произойдет еще раньше — вспомните, что для нормального приема необходимо пропустить через усилитель промежуточной частоты всю полосу колебаний боковых частот, образующихся при модуляции несущей. Кроме того, в усилитель промежуточной частоты «полезут» помехи от соседних радиостанций, ибо теперь их сигналы будут образовывать с колебаниями гетеродина биения, частоты которых находятся в пределах полосы пропускания фильтров промежуточной частоты. Таким образом, приходится проявлять очень серьезную заботу о повышении стабильности частоты гетеродина, особенно на коротких волнах. На длинных волнах при частоте гетеродина, например, 665 *кгц* (приемник настроен на частоту $f_c=200$ *кгц*, промежуточная частота $f_п=465$ *кгц*) допустимый уход частоты гетеродина на 5 *кгц* (половина полосы пропускания фильтров промежуточной частоты) составляет в относительных величинах $5/665\approx7\cdot10^{-3}$, а на коротких волнах, когда гетеродин настроен, например, на частоту 10 465 *кгц* (приемник принимает сигнал с частотой 10 000 *кгц*, т. е. 10 *Мгц*), допустимый уход частоты гетеродина на 5 *кгц* составляет в относительных величинах $5/10\,465\approx5\cdot10^{-4}$, т. е. на коротких волнах стабильность частоты гетеродина, определяемая допустимым уходом частоты, должна быть почти в 10 раз выше Добавьте к этому еще и то соображение, что на коротких волнах насыщенность диапазона радиостанциями значительно больше, чем в длинноволновом диапазоне и соответственно от них больше помех. Поэтому если на длинных волнах уход частоты гетеродина на 5 *кгц* вызовет только некоторое ухудшение звучания, то на коротких волнах при таком уходе частоты гетеродина в громкоговорителе приемника с одинаковой громкостью могут звучать две соседние радиостанции. Следовательно, необходима еще более высокая стабильность частоты гетеродина.

Конечно, изменение частоты гетеродина можно компенсировать вращением ручки настройки контура гетеродина, но это усложняет пользование приемником, ибо придется время от времени подстраивать частоту гетеродина.

Вернемся к односеточному преобразователю частоты на пентоде. Такой преобразователь в радиовещательных приемниках применяют редко и основная причина этого — паразитная связь между колебательными контурами, настроенными на частоту сигнала f_c и частоту гетеродина $f_г$; ведь оба контура включены в общую цепь сетки лампы. Правда, можно применить схему, показанную на рис. 10, в которой для уменьшения паразитной связи контуров гетеродинный контур подключен к входу смесителя через очень малую

емкость конденсатора связи $C_{св}$. Но даже в этой схеме взаимное влияние контуров довольно велико.

В чем же заключается это взаимное влияние и почему оно нежелательно? Оно выражается во взаимной зависимости настроек этих контуров, т. е. настройка, например, гетеродинного контура опре-

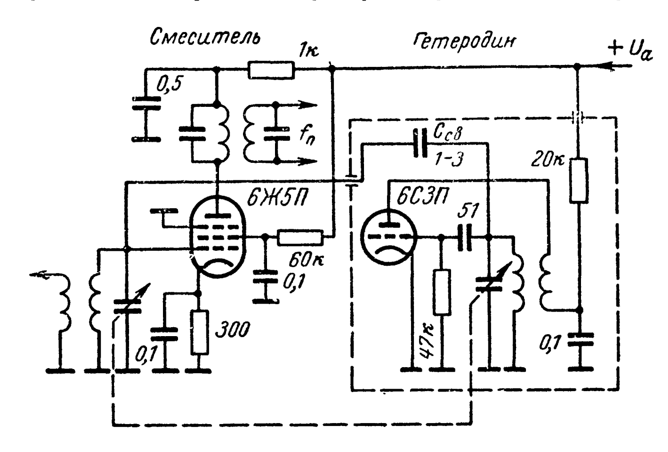


Рис. 10. Полная принципиальная схема односеточного преобразователя частоты с отдельным гетеродином.

деляется не только изменением емкости его конденсатора настройки, но и настройкой другого контура. При этом одновременно с перестройкой гетеродинного контура происходит некоторое изменение настройки и другого контура. Естественно, что такое «неконтролируемое» изменение настройки контуров мешает нормальной работе преобразователя.

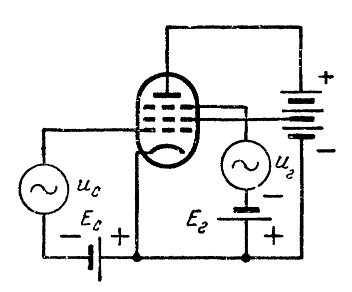


Рис. 11. Двухсеточный преобразователь частоты.

Более совершенны двухсеточные преобразователи частоты (рис. 11). В них контур гетеродина совершенно «развязан» от контура принимаемого сигнала, так как напряжения сигнала и колебания гетеродина поступают на разные сетки пентода Кроме того, первая (сигнальная) и третья (гетеродинная) сетки разделены экранирующей сеткой, которая резко уменьшает емкость между ними, а значит, и связь контуров Как же работает такой преобразователь?

Когда говорилось о работе односеточного преобразователя, то по аналогии с диодным детектором указывалось на наличие биений при сложении колебаний сигнала и гетеродина во входной цепи смесителя. Для двухсеточного преобразования о биениях говорить не

приходится, так как колебания сигнала и гетеродина воздействуют на разные входные цепи.

Начнем с того момента, когда на сетках отсутствуют высокочастотные колебания, т. е. на первой и третьей сетках имеются только отрицательные напряжения смещения $E_с$ и $E_г$. В этом случае часть электронов с катода пролетает сквозь первую сетку и перехватывается экранирующей сеткой. Другая же часть электронов, пролетевших сквозь экранирующую сетку, встречает тормозящее поле, созданное отрицательно заряженной третьей сеткой, и лишь некоторым из электронов удается пролететь сквозь нее и создать

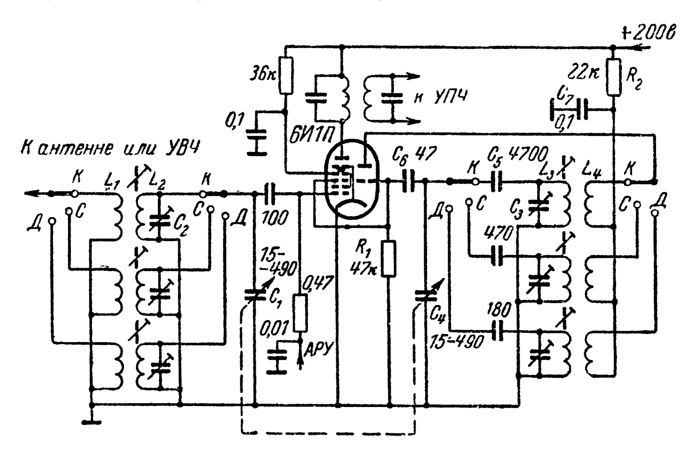


Рис. 12. Полная схема преобразователя частоты на комбинированной лампе 6И1П.

анодный ток. Остальные электроны отталкиваются третьей сеткой обратно и образуют между второй и третьей сетками электронное облако. В зависимости от напряжения на третьей сетке сквозь нее из этого облака попадает к аноду больший или меньший поток электронов, т. е. при более положительном напряжении на гетеродинной сетке анодный ток оказывается больше при той же величине напряжения на сигнальной сетке. Поэтому если на гетеродинную сетку подано переменное напряжение гетеродина, то анодный ток лампы начинает изменяться в соответствии с формой высокочастотного напряжения на этой сетке.

Когда же на сигнальную сетку поступает напряжение сигнала, то анодный ток начинает изменяться под действием и этого напряжения. Следовательно, в составе анодного тока лампы смесителя появятся колебания с частотой гетеродина $f_г$, частотой сигнала $f_с$, а также колебания с разностной $(f_г - f_с)$ частотой. Сигнал разностной частоты будет выделен фильтром промежуточной частоты.

Как и при односеточном детектировании, коэффициент передачи $K_{пр} = U_п / U_с = S_{пр} R_{рез} > 1$.

Для двухсеточного преобразования в диапазонах длинных, средних и коротких волн обычно применяют специальные частотопреобразовательные лампы. Одной из таких ламп является 6И1П. Это

комбинированная лампа, состоящая из лампы смесителя и лампы гетеродина (рис. 12). Такая комбинированная лампа называется триод-гептод.

Правая часть лампы (гетеродин) работает по схеме самовозбуждающегося генератора с контуром в цепи сетки и с индуктивной обратной связью. Такой генератор описан во многих книгах по радиотехнике, поэтому не будем останавливаться на его работе; заметим только, что по схеме этот гетеродин не отличается от гетеродина на отдельной лампе, показанного на рис. 10 Заметим, что для работы на УКВ также сконструированы специальные комбини-

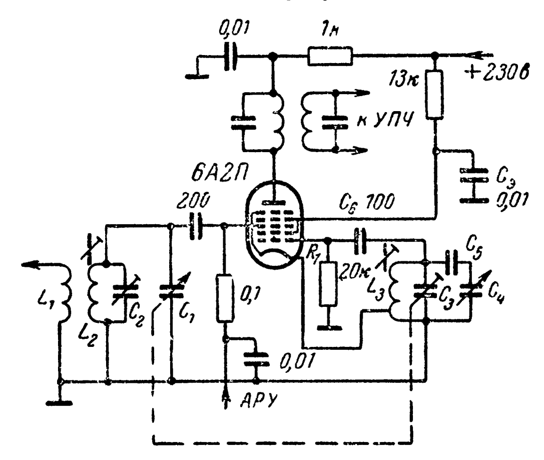


Рис. 13. Полная схема преобразователя частоты на лампе триод-гептод 6А2П.

рованные частотопреобразовательные лампы, представляющие собой комбинацию триода, работающего в схеме гетеродина, и пентода-смесителя (например, лампа 6Ф1П).

Но вернемся к схеме на рис. 12. В гептодной части напряжение от гетеродина подводится к третьей сетке. Отрицательное напряжение смещения, которое автоматически создается при работе гетеродина на его сетке, воздействует на третью сетку гептодной части совместно с переменным напряжением. В случае увеличения амплитуды колебаний гетеродина возрастает и отрицательное смещение, благодаря чему приблизительно поддерживается постоянство крутизны преобразования.

Напряжение сигнала воздействует в этой схеме на первую сетку гептода. Вторая и четвертая сетки гептодной части являются экранирующими, а пятая — защитной. Крутизна преобразования этой лампы при правильно выбранном режиме может составлять 0,5—1 *ма/в*.

Однако не всегда двухсеточное преобразование выполняется на лампе типа триод-гептод. Для такого преобразования можно использовать один гептод, совмещающий функции смесителя и гетеродина (рис. 13). Такими являются лампы 1А1П, 1А2П, 6А2П,

6А10С, 6А7. В них в качестве сетки гетеродина используют первую сетку лампы. Роль анода гетеродина совместно выполняют анод лампы и две ее экранирующие сетки. Обратная связь, необходимая для возникновения колебаний в схеме гетеродина, осуществляется с помощью катодного тока, проходящего через нижнюю часть витков катушки L_3. Такая схема гетеродина называется индуктивной трехточечной схемой с общим анодом, так как для переменного тока гетеродина не только конденсатор $C_э$ в цепи экранирующих сеток, но и конденсатор контура промежуточной частоты в цепи анода представляют практически короткое замыкание, т. е. анод лампы по переменному току гетеродина заземлен. Напряжение сигнала воздействует на третью сетку, тогда как вторая сетка служит экраном между первой и третьей сетками Она уменьшает емкости между ними и тем самым «развязывает» контур гетеродина от контура сигнала.

Между второй и третьей сетками образуется облачко электронов, если на третьей сетке имеется отрицательное смещение или нулевой потенциал. В этих условиях переменное напряжение сигнала на третьей сетке и напряжение гетеродина на первой сетке управляют анодным током, создавая условия для двухсеточного преобразования частоты.

Чтобы повысить усилительные свойства лампы, введена четвертая сетка, которая представляет собой обычный экранирующий электрод для верхней (усилительной) части лампы. Но чтобы лампа по своим усилительным свойствам была подобна пентоду, необходима и пятая — защитная — сетка, замкнутая на катод.

Транзисторные преобразователи аналогичны триодным ламповым преобразователям. Они могут работать только по принципу односеточного преобразования: в цепи база — эмиттер действуют колебания сигнала и гетеродина, а колебания промежуточной частоты выделяются в фильтре, включенном в цепь коллектора

На рис 14 приведена схема транзисторного преобразователя с гетеродином на отдельном транзисторе. Во многом эта схема аналогична схеме, показанной на рис. 10, но имеет свои «транзисторные» особенности.

Контур L_2C_1 настроен на частоту принимаемого сигнала, причем связь его с базой транзистора неполная, т. е. в цепи базы включена только часть витков катушки индуктивности. Зачем это сделано?

Ламповый односеточный преобразователь работает без тока в цепи управляющей сетки. Иначе говоря, такой смеситель обладает очень большим входным сопротивлением и практически не шунтирует входной контур (не снижает его добротности) Транзисторный же смеситель работает при наличии тока (постоянного или переменного) во входной цепи, в данном случае — в цепи базы. Поэтому его входное сопротивление невелико и заметно шунтирует входной контур, снижая его добротность Именно поэтому применяют неполное включение контура во входную цепь — в этом случае шунтируется лишь часть витков катушки, и добротность контура уменьшается не столь значительно.

Назначение остальных элементов схемы следующее. Цепь из резисторов R_1 и R_2 определяет начальное напряжение на базе относительно общего эмиттера. Напряжение с частотой гетеродина наводится в катушке L_4, индуктивно связанной с контуром гетеродина и включенной в цепь эмиттера смесителя. В ту же цепь включен

резистор R_3 для температурной стабилизации режима смесителя. В цепь коллектора включен контур промежуточной частоты C_7L_5; коллектор подключен к части витков катушки L_5 с тем, чтобы согласовать выходное сопротивление транзистора с резонансным сопротивлением контура. Катушка L_6 связывает контур промежуточной частоты со следующим каскадом.

В схеме гетеродина применен отдельный транзистор T_2, к которому колебательный контур L_3C_2 подключен по трехточечной схеме. Гетеродин работает по схеме с общим эмиттером; резистор R_5 в

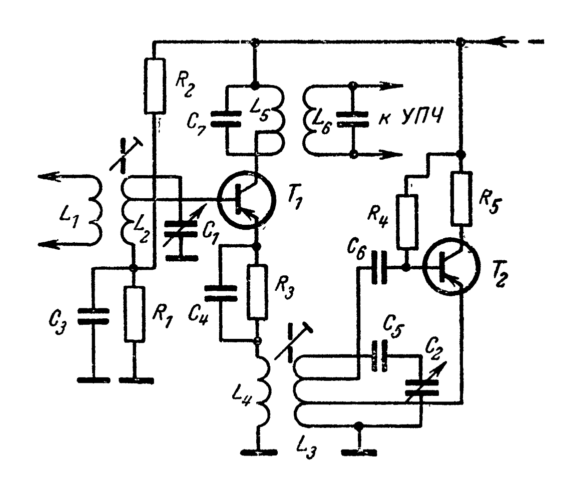


Рис. 14. Схема транзисторного преобразователя с гетеродином на отдельном транзисторе.

цепи коллектора препятствует возникновению паразитных колебаний и предохраняет коллектор от повреждения при случайных импульсах тока в цепи базы. Резистор R_4 устанавливает режим питания базы, а конденсатор C_6 служит разделительным. Наконец, конденсатор C_5 включается для сопряжения контуров сигнала и гетеродина в двух точках диапазона (вопросы сопряжения контуров мы рассмотрим несколько позже).

Транзисторный преобразователь может быть собран и на одном транзисторе (рис. 15). Однако надо сказать, что такой преобразователь значительно сложнее в налаживании, менее устойчив в работе и имеет меньший коэффициент передачи. Но все же, когда нежелательно увеличивать количество транзисторов в приемнике, иногда применяют такой преобразователь.

Рассмотрим эту схему. Собственно, рассказывать придется только о гетеродине, потому что, хотя схема смесителя несколько и отличается от смесителя на рис. 14, это отличие не является принципиальным. Например, база транзистора подключена к контуру сигнала L_2C_1 посредством индуктивной связи. Но можно транзистор подключить к контуру так же, как это показано на рис. 14.

Контур гетеродина L_4C_2 (с конденсатором сопряжения C_5) включен в цепь эмиттера неполностью, чтобы меньше шунтировать катушку индуктивности. Обратная связь цепи коллектора с контуром индуктивная — через катушку L_5.

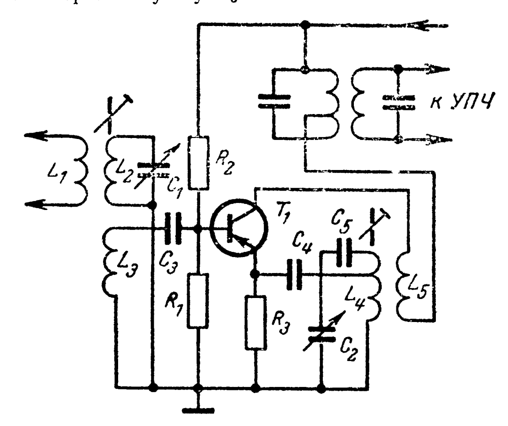


Рис. 15. Схема преобразователя на одном транзисторе.

ЗАЧЕМ НУЖЕН ВХОДНОЙ КОНТУР?

Надо учесть, что супергетеродинный приемник должен иметь избирательность не только по соседнему каналу (т. е. на частотах, соседних с той частотой, на которой работает принимаемая радиостанция), но и избирательность по «зеркальному» каналу. Разберемся, о каком «зеркальном» канале идет речь.

Однако прежде выясним, что такое чувствительность и избирательность. Чувствительность — способность принимать слабые сигналы радиостанций. Чувствительность приемника принято определять величиной напряжения (в микровольтах) высокочастотного сигнала на входе приемника при 30%-ной модуляции, когда на выходе приемника развивается нормальная электрическая мощность[1]. Очевидно, что чем выше чувствительность приемника, т. е. чем меньше на-

[1] Нормальная выходная мощность — это 0,1 от номинальной электрической мощности на выходе усилителя низкой частоты, а номинальная мощность — это максимальная электрическая мощность, которая подводится к громкоговорителю при допустимых нелинейных искажениях. Последняя оговорка весьма существенна, так как приемник обычно может отдать и бо́льшую мощность низкочастотных колебаний, но тогда появятся очень значительные искажения звучания из-за возросших искажений. При небольшой мощности искажения незначительны и не улавливаются ухом. По мере увеличения выходной мощности они возрастают, а при величине, когда они уже заметны на слух, определяют номинальную выходную мощность.

пряжение на входе приемника, необходимое для получения на его выходе нормальной мощности низкочастотного сигнала, тем лучше его способность принимать слабые сигналы.

Чувствительность лучших радиовещательных приемников с внешней антенной достигает 50 *мкв* на ДВ, СВ и КВ диапазонах. Переносные транзисторные приемники обычно имеют чувствительность порядка 100—300 *мкв*, а при приеме на внутреннюю магнитную антенну в диапазоне длинных и средних волн —1—3 *мв/м*.

Замечу, что когда речь идет о высокочувствительных приемниках, то надо иметь в виду следующее. Приемник может принимать лишь те слабые сигналы, которые превышают его собственные внутренние шумы, вызванные хаотическим движением электронов в лампах, транзисторах, резисторах и других электрических цепях; к шумам относится и фон переменного тока. Иначе говоря, сигналы принимаемой радиостанции на входе приемника должны быть достаточными, чтобы быть слышными на фоне шумов приемника. Поэтому имеют в виду такую величину сигнала на входе приемника, которая превышает уровень шумов по крайней мере в 10 раз, т. е. на 20 *дб**.

Избирательность — способность приемника отделять сигналы принимаемой радиостанции от сигналов радиостанций, работающих на других частотах. По международному соглашению радиостанции должны отстоять друг от друга по частоте не менее чем на 10 *кгц*. Поэтому избирательность приемника характеризует его способность подавлять сигналы, отстоящие на ±10 *кгц* от частоты, на которую он настроен. У радиовещательных приемников высшего класса избирательность по соседнему каналу должна быть порядка 60 *дб*. Это означает, что на частотах, отстоящих от частоты настройки на ±10 *кгц*, чувствительность приемника падает в 1 000 раз по сравнению с чувствительностью на частоте настройки. Как видите, избирательность приемника можно характеризовать его чувствительностью на частоте соседнего канала

Приемники могут иметь и меньшую избирательность по соседнему каналу, но не хуже 16—20 *дб*, т. е. ослабление сигналов соседних радиостанций должно быть не менее чем в 6—10 раз, иначе в громкоговорителе могут быть слышны одновременно несколько радиостанций почти с одинаковой громкостью.

Вот теперь займемся избирательностью супергетеродина по зеркальному каналу. Какой это канал и почему он называется зеркальным?

Представьте, что у супергетеродинного приемника антенна подключена непосредственно к смесителю, т. е. между антенной и смесителем нет высокочастотных колебательных контуров, настроенных на частоту принимаемого сигнала. Предположим далее, что нам надо принять радиостанцию, работающую на частоте f_{c1}, например, 4 *Мгц*. Для этого мы настраиваем гетеродин приемника на частоту $f_г = f_{c1} + f_п = 4 + 0{,}465 = 4{,}465$ *Мгц* (при условии, что промежуточная частота нашего приемника 465 *кгц* или 0,465 *Мгц*). Радиостанция

---

* Децибел (*дб*) — логарифмическая единица, принятая для оценки величин отношений напряжений, токов и мощностей:

$$20 \lg \frac{U_2}{U_1}; \quad 20 \lg \frac{I_2}{I_1}; \quad 10 \lg \frac{p_2}{p_1}.$$

принята, казалось бы все в порядке Но в громкоговорителе слышны с одинаковой громкостью две радиостанции. одна «наша», на которую мы и хотели настроиться, а другая — «чужая». Откуда она взялась? Может быть она расположена очень близко по частоте к «нашей» радиостанции и образовала с колебаниями гетеродина биения, близкие к колебаниям промежуточной частоты, и поэтому они тоже прошли через фильтры промежуточной частоты? Нет, рядом с нашей станцией нет этой «чужой» радиостанции. В чем дело, откуда она взялась?

Давайте подумаем. Вообразите, что одновременно с «нашей» радиостанцией, частота которой равна 4 *Мгц*, работает какая-то

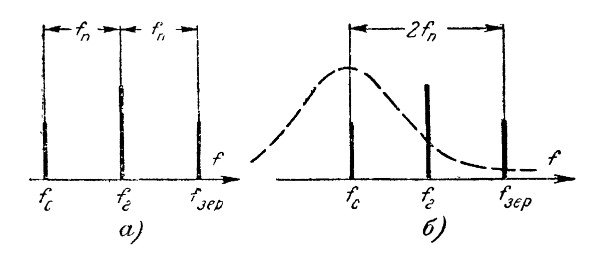


Рис 16 К пояснению возникновения в супергетеродине зеркального канала и способ повышения избирательности по этому каналу.

станция на частоте 4,930 *Мгц* Обратите внимание на частоты: «наша» радиостанция работает на частоте 4 *Мгц*, «чужая» — на частоте 4,930 *Мгц*. Разность частот между ними 930 *кгц*, а это составляет удвоенную промежуточную частоту: 2×465=930 *кгц*. Вы догадываетесь?

Для приема «нашей» радиостанции мы настроили гетеродин из условия: $f_г—f_{c1}=f_п$, т. е. 4,465—4=0,465 *Мгц*. Но ведь в преобразователе может быть получен сигнал промежуточной частоты и по другому соотношению: $f_{c2}—f_г=f_п$. В этом случае частота f_{c2} равна $f_г+f_п$ =4,465+0,465=4,930 *Мгц* А это и есть как раз та частота, на которой работает «чужая» радиостанция. Поэтому становится ясно, почему мы слышим с одинаковой громкостью сразу две радиостанции: ведь обе они создают с колебаниями гетеродина сигналы с одинаковой промежуточной частотой.

На рис. 16, *а* это изображено графически Частота мешающей радиостанции $f_{зер}$, отстоящая от частоты «нашей» радиостанции f_c на удвоенную промежуточную частоту $2f_п$, называется частотой симметричного канала супергетеродина, или **частотой зеркального канала**, в отличие от основного канала, на частоте которого работает «наша» радиостанция.

Как же избавиться от приема «зеркальной» радиостанции, т. е. от «симметричной» помехи?

Для этого на входе преобразователя надо поставить колебательный контур и настроить его на частоту «нашей» радиостанции (рис. 16, *б*). Тогда сигнал «зеркальной» радиостанции будет значительно ослаблен и хотя он все же образует с колебаниями гетеродина сигнал промежуточной частоты, но амплитуда его окажется неве-

лика, и «зеркальная» радиостанция будет едва слышна. Чем больше добротность контура, включенного на входе смесителя, т. е. чем уже его резонансная характеристика, тем значительнее ослабление сигналов по зеркальному каналу.

В хороших приемниках ослабление по этому каналу должно быть значительным; например, радиовещательный приемник первого класса в коротковолновом диапазоне должен обеспечить ослабление по зеркальному каналу в 20 раз. Такую избирательность приемника в отношении зеркального канала можно достигнуть только в том случае, если перед входом преобразователя установить несколько колебательных контуров, например так называемый **входной контур** — в цепи сетки лампы усилителя высокой частоты, другой контур — на входе преобразователя. Иногда и этого бывает недостаточно и приходится устанавливать в приемнике несколько каскадов усиления высокой частоты и включать три-четыре колебательных контура. Естественно, что в коротковолновом диапазоне труднее обеспечить высокую избирательность по зеркальному каналу, чем в средневолновом, а тем более — длинноволновом диапазонах, так как полоса пропускания контура тем шире, чем выше его резонансная частота (см. рис. 4). Поэтому, если на длинноволновом диапазоне два колебательных контура (входной контур и контур на входе преобразователя) обеспечивают ослабление сигнала «зеркальной» радиостанции в 500—600 раз, на коротковолновом диапазоне эти два контура ослабляют этот сигнал только в 15—20 раз.

С учетом сказанного можно дать некоторые советы по выбору величины промежуточной частоты. Если стремиться получить от усилителя промежуточной частоты как можно бо́льшее усиление (а именно оно в основном определяет возможность приема слабых сигналов супергетеродинным приемником), значение промежуточной частоты желательно выбрать как можно ниже. В самом деле коэффициент усиления каскада усилителя промежуточной частоты приближенно выражается следующей формулой:

$$K = \frac{S}{2} R_{\text{рез}},$$

где S — крутизна характеристики лампы каскада.

Резонансное сопротивление контура $R_{\text{рез}}$ зависит от добротности контура Q и резонансной частоты (в нашем случае — от промежуточной частоты $f_{\text{п}}$):

$$R_{\text{рез}} = \frac{Q}{2\pi f_{\text{п}} C},$$

где C — емкость конденсатора в контуре фильтра промежуточной частоты

Таким образом, чем ниже частота $f_{\text{п}}$, тем больше $R_{\text{рез}}$ и тем выше коэффициент усиления каскада. Более того, при малой промежуточной частоте меньше сказываются паразитные емкости, поэтому усилитель промежуточной частоты может иметь бо́льшее усиление и не самовозбуждаться.

Но не только в усилении дело. Чем ниже промежуточная частота, тем круче идут ветви характеристики фильтра промежуточной частоты, и характеристика фильтра по форме ближе к П-образ-

ной. А это означает, что приемник будет обладать лучшей избирательностью **по соседнему каналу,** т. е. лучше будет отсеивать сигналы радиостанций, работающих на частотах, близких к частоте принимаемой радиостанции.

С другой стороны, из соображений улучшения избирательности **по зеркальному каналу** промежуточную частоту желательно увеличивать: ведь тогда зеркальный канал отодвинется от основного, ибо чем выше промежуточная частота, тем больше по частоте расстояние $2f_п$. А чем дальше по частоте отодвинута мешающая радиостанция от резонансной частоты входного контура, тем больше будет ослаблен ее сигнал этим контуром. Поэтому если при $f_п=$ $=465$ *кгц* на коротковолновом диапазоне для ослабления симметричной помехи в 20 раз требуется два колебательных контура, то при более низкой промежуточной частоте для такого же ослабления перед смесителем придется установить большее число контуров, настроенных на частоту принимаемого сигнала, или применить контуры с более высокой добротностью. Иначе говоря, при низком значении промежуточной частоты приходится предъявлять более строгие требования к избирательности входной цепи и усилителя высокой частоты, т. е. иметь большее число высокочастотных контуров, а это сильно усложняет приемник.

Примирение этих противоречивых требований — достаточно сложная задача. В радиовещательных приемниках наиболее распространена промежуточная частота $f_п=465$ *кгц*. Выбрано такое значение этой частоты вот из каких соображений. Эта частота находится в разрыве радиовещательного диапазона между длинными и средними волнами. В диапазоне частот между 415 и 520 *кгц* по международному соглашению запрещена работа радиостанций, а это не маловажное обстоятельство. Ведь если на промежуточной частоте будет работать какия-нибудь радиостанция, то ее колебания, попав на вход преобразователя, будут усилены трактом промежуточной частоты наряду с сигналами принимаемой радиостанции. Поэтому в хороших приемниках на входе на всякий случай включают специальный фильтр, задерживающий сигналы с частотой, равной промежуточной частоте приемника.

Вторая причина, почему частота 465 *кгц* выбрана в качестве промежуточной, — она не очень «низка» и не слишком «высока». Другими словами, фильтры, настроенные на такую промежуточную частоту, обладают хорошей частотной характеристикой и обеспечивают необходимую избирательность по соседнему каналу. Вместе с тем зеркальный канал отстоит от основного на 930 *кгц* — это довольно значительный интервал по частоте даже для коротковолнового диапазона. Поэтому можно получить нужную избирательность по зеркальному каналу при небольшом числе радиочастотных контуров.

ЧТО ТАКОЕ СОПРЯЖЕНИЕ НАСТРОЕК?

Говорят, сопряжение настроек — это один из самых трудных моментов в налаживании супергетеродинных приемников. Во всяком случае часто «сопряжение» доставляет много хлопот. Каких хлопот? А вот таких: на одном конце диапазона станции слышны хорошо и на другом хорошо, а в середине диапазона совсем не слышны. Начнешь регулировать приемник и окажется, что в середине диапазона станции появились, а по краям исчезли. По этому поводу необходим серьезный разговор.

Итак, для защиты приемника от помех по зеркальному каналу перед преобразователем должен быть включен колебательный контур, настроенный на частоту принимаемого сигнала.

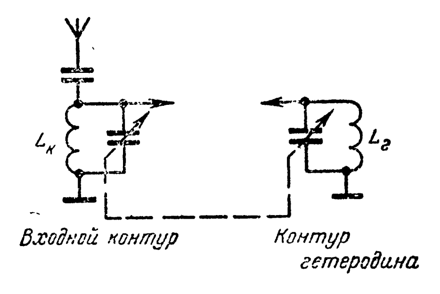


Рис. 17. Чтобы одной ручкой настраивать входные и гетеродинные контуры, конденсаторы настройки надо объединить на одной оси.

Обратите внимание — настроенный. Это означает, что при перестройке приемника с одной частоты на другую надо **не только изменять частоту гетеродина**, чтобы сохранить условие $f_г - f_с = f_п$, но **и перестраивать входной контур** таким образом, чтобы он всегда был настроен на частоту принимаемого сигнала.

На первый взгляд это несложно. Настройку гетеродинного и входного контуров производят изменением емкостей их конденсаторов. Надо лишь объединить эти конденсаторы на одной оси (рис. 17), вывести ее на переднюю панель приемника, насадить ручку —

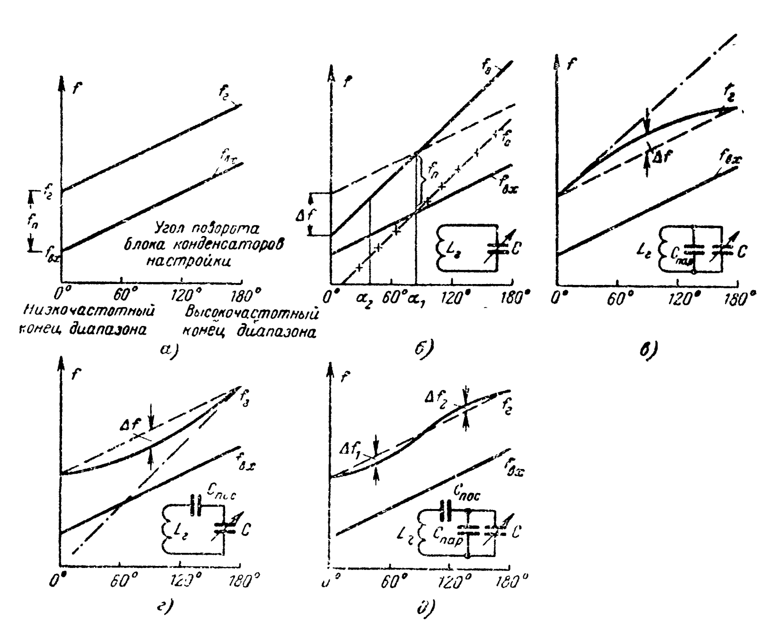


Рис. 18. Принцип сопряжения настроек входного и гетеродинного контуров.

и готово При вращении ручки настройки одновременно будут перестраиваться и гетеродинный, и входной контуры.

Перестраиваться-то контуры будут, это правда, но как? Нам необходимо, чтобы и входной, и гетеродинный контуры перестраивались так, чтобы разность $f_г - f_{вх} = f_п$ не изменялась. Графически это условие будет выглядеть, как показано на рис. 18, *а*. Но в действительности этого не произойдет.

Вы, наверно, замечали, что на коротковолновом диапазоне настройка значительно «острее», чем на длинноволновом или средневолновом диапазонах: чуть тронешь ручку настройки, и станция пропала. А ведь настройка на всех диапазонах ведется одним и тем же конденсатором настройки, емкость которого изменяется от $C_{мин} = 10$ *пф* до $C_{макс} = 490$ *пф*. Почему же настройка на коротковолновом диапазоне значительно «острее» настройки на длинноволновом?

Дело в том, что на более высокой частоте контур как бы «чувствительнее» к изменению емкости. Чтобы подтвердить это, давайте проделаем маленький расчет. Как известно, частота настройки контура определяется формулой

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Так как в процессе настройки приемника изменяется только емкость конденсатора от $C_{мин}$ до $C_{макс}$, а индуктивность контура остается неизменной, то можно написать:

$$\frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \frac{\sqrt{C_{макс}}}{\sqrt{C_{мин}}}.$$

Кстати, отношение $n = \frac{f_{макс}}{f_{мин}}$ носит название перекрытия по частоте. Подставив значения емкостей, получим:

$$\frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \frac{\sqrt{490}}{\sqrt{10}} = \sqrt{49} = 7.$$

Таким образом, перекрытие по частоте равно 7. Поэтому, если частота $f_{макс} = 1\,500$ *кгц* (средневолновый диапазон), то частота

$$f_{мин} = \frac{f_{макс}}{n} = \frac{1\,500}{7} = 214 \text{ кгц}.$$

Следовательно, изменение емкости на 480 *пф* на средневолновом диапазоне вызывает изменение настройки контура на 1 286 *кгц* Если же принять $f'_{макс} = 15\,000$ *кгц* (коротковолновый диапазон), то при том же изменении емкости на 480 *пф* минимальная частота контура

$$f'_{мин} = \frac{f'_{макс}}{n} = \frac{15\,000}{7} = 2\,140 \text{ кгц},$$

т. е. изменение частоты настройки контура составляет уже 12 860 *кгц*. В десять раз больше.

Теперь вспомните, что частота гетеродинного контура супергетеродинного приемника по условию $f_г—f_{вх}=f_п$ почти на 500 *кгц* выше частоты настройки входного высокочастотного контура (ее стандартное значение равно 465 *кгц*). Следовательно, при одном и том же изменении емкости частота настройки гетеродинного контура изменяется более значительно, чем частота настройки входного контура. Поэтому если в середине диапазона соответствующим подбором индуктивностей настроить оба контура таким образом, чтобы было выдержано соотношение $f_г—f_{вх}=f_п$, то на низкочастотном конце диапазона (на котором емкость конденсатора настройки максимальна — ведь чем больше емкость контура, тем на более низкую частоту он настроен) частота гетеродина приблизится к частоте настройки входного контура, а на высокочастотном конце (на котором емкость конденсатора настройки минимальна) частота гетеродина, наоборот, отодвинется от частоты настройки входного контура (рис. 18, *б*).

К чему это приведет? Мы уже говорили, что приемник будет принимать без искажений данную радиостанцию, работающую на частоте $f_с$, только в том случае, если частота гетеродина $f_г$ выше частоты радиостанции $f_с$ на промежуточную частоту $f_п$[1]. Естественно, что это условие должно выполняться в любых точках диапазона. При этом входной контур должен быть настроен точно на частоту радиостанции: $f_{вх}=f_с$. Однако вот этого-то не получается.

Вернемся к рис. 18, *б*. Если бы при перестройке приемника по диапазону частота гетеродинного контура изменялась так, как показано на этом рисунке пунктирной линией, т. е. в точности следовала за изменением частоты настройки входного контура, то все бы было в порядке: входной контур всегда был бы настроен на частоту принимаемой радиостанции ($f_{вх}=f_с$), а гетеродинный — на частоту, которая на $f_п$ выше частоты $f_с$. Но как мы выяснили, частота гетеродинного контура изменяется иначе, чем изменяется частота настройки входного контура: если на средней частоте диапазона мы настроили контуры таким образом, что выдержано соотношение $f_г—f_{вх}=f_п$ (причем $f_{вх}=f_с$), то на краях диапазона это соотношение нарушается (рис. 18, *б*).

Но что значит: нарушается соотношение? Будет ли при этом приемник принимать сигналы радиостанции, работающей на частоте $f_с$?

Да, будет, если колебания гетеродина образуют с сигналом радиостанции биения промежуточной частоты, т. е. если выдержано соотношение $f_г—f_с=f_п$. Не путайте, пожалуйста, частоту принимаемой радиостанции $f_с$ и частоту настройки входного контура $f_{вх}$.

Соотношение $f_г—f_с=f_п$ — это, так сказать, обязательное условие для приема данной радиостанции, работающей на частоте $f_с$. А вот соотношение $f_г—f_{вх} = f_п$ — это желательное условие, но прием радиостанции, работающей на частоте $f_с$, возможен и в случае несоблюдения этого условия, т. е. когда частота настройки входного контура $f_{вх}$ не равна частоте принимаемой радиостанции $f_с$.

Посмотрите на рис. 18, *б*. При перестройке приемника по диапазону частота гетеродина изменяется по прямой $f_г$. Если на графике для каждого значения частоты гетеродина $f_г$ указать частоты, на которых возможен прием радиостанции, то они расположатся по пря-

[1] Дальше будет показано, что некоторое отклонение разности $f_г — f_с$ от величины $f_п$ все же допустимо (см. стр. 32). Сейчас мы об этом не говорим, чтобы не усложнять рассуждений.

мой f_c. Как видите, эта прямая пересечет прямую, характеризующую настройку входного контура $f_{вх}$, только в одной точке — на средней частоте диапазона $f_{ср}$ (точка α_1). Только в этой точке диапазона входной контур будет точно настроен на частоту принимаемой радиостанции f_c, т. е. соотношения $f_г-f_c=f_п$ и $f_г-f_{вх}=f_п$ будут соблюдены одновременно. Во всех же остальных точках диапазона входной контур окажется расстроенным относительно частоты принимаемой радиостанции.

При этом произойдет следующее. Рассмотрим для примера низкочастотный конец диапазона, на котором частота настройки входного контура придвинулась к частоте настройки гетеродинного контура и разность между частотами их настроек стала меньше $f_п$ (точка α_2). Так как частота, на которой супергетеродинный приемник может принять радиостанцию, обязательно должна быть на $f_п$ ниже частоты гетеродина, то приемник при данной настройке гетеродина будет принимать радиостанцию на частоте f_c (рис. 19). Но поскольку частота настройки входного контура приблизилась к частоте гетеродина, то входной контур окажется расстроенным относительно частоты f_c на величину Δf. Конечно, приемник все равно будет принимать радиостанцию на частоте f_c, но ее сигнал, как видно из рис. 19, будет очень ослаблен и искажен входным контуром. Если же расстройка Δf очень велика (что имеет место на краю диапазона), а входной контур обладает высокой добротностью, то он настолько подавит сигнал радиостанции, что прием на частоте f_c будет вообще невозможен.

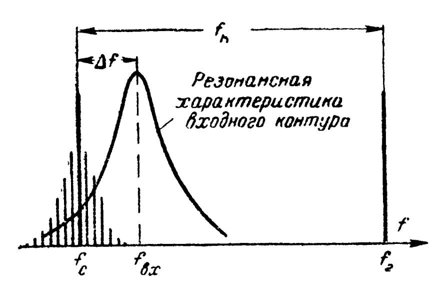


Рис. 19. К пояснению сущности погрешности сопряжения Δf.

На высокочастотном конце диапазона, на котором частота настройки входного контура отодвинется от частоты гетеродина на величину, большую $f_п$, картина такая же, но расстройка Δf имеет иной знак.

Как же заставить настройку входного контура в точности следовать за настройкой гетеродинного контура, чтобы разность между частотами их настроек всегда составляла $f_п$?

Замечу, что этот вопрос можно сформулировать и так: как заставить настройку гетеродинного контура следовать за настройкой входного контура, чтобы разность между ними всегда составляла $f_п$? Не правда ли, это одно и то же, но технически «привязать» настройку гетеродинного контура к настройке входных контуров легче, хотя бы потому, что гетеродинный контур в приемнике один, а контуров, настраиваемых на частоту сигнала, может быть несколько. Эта «привязка» называется **сопряжением настроек контуров.**

Давайте сделаем так: установим блок конденсаторов настройки в положение максимальной емкости и настроим гетеродинный контур с помощью катушки индуктивности (изменением числа витков катушки или изменением положения сердечника) таким образом, чтобы

частота гетеродина была выше частоты настройки входного контура точно на $f_п$. При этом получим точное сопряжение настроек входного и гетеродинного контура на низкочастотном конце диапазона. Далее начнем поворачивать ручку настройки приемника, уменьшая емкость блока конденсаторов, т. е. будем настраиваться на более высокую частоту диапазона. При этом частота гетеродинного контура будет изменяться более интенсивно (штрих-пунктирная линия на рис. 18, *в*), чем частота входного контура. Как вы думаете, что надо сделать, чтобы частота гетеродинного контура изменялась не столь интенсивно?

Надо уменьшить интенсивность изменения емкости конденсатора настройки контура гетеродина, а для этого следует включить параллельно ему конденсатор с небольшой постоянной емкостью $C_{пар}$ (см. рис. 18, *в*) и выбрать индуктивность контура гетеродина $L_г$ такой, чтобы подключение $C_{пар}$ не привело бы к изменению точной настройки на низкочастотном (длинноволновом) конце диапазона. Тогда по мере уменьшения емкости конденсатора настройки влияние этого параллельного конденсатора начнет сказываться все сильнее, и в результате рост частоты гетеродина замедлится. Можно так подобрать емкость конденсатора $C_{пар}$, что на высокочастотном конце диапазона произойдет точное сопряжение. Таким образом, с помощью конденсатора $C_{пар}$ мы получим точное сопряжение уже в двух точках диапазона. Наибольшая погрешность сопряжения Δf в этом случае будет в середине диапазона, но по абсолютной величине она значительно меньше погрешности, показанной на рис. 18, *б*.

Однако можно предложить и другой способ сопряжения в двух точках диапазона; включить в гетеродинный контур последовательный конденсатор $C_{пос}$ (см. рис. 18, *г*). При таком способе сопряжения вначале установим блок конденсаторов настройки в положение минимальной емкости (на высокочастотном конце диапазона) и регулировкой индуктивности настроим контур гетеродина на частоту точного сопряжения. Затем будем вводить пластины конденсаторов блока настройки. Если бы не было конденсатора $C_{пос}$, то изменение частоты гетеродина происходило бы так, как показано штрих-пунктирной линией на рис. 18, *г*. Но наличие конденсатора $C_{пос}$ уменьшает общую емкость контура гетеродина (если два конденсатора включить последовательно, то их общая емкость будет меньше емкости любого из них). Поэтому по мере увеличения емкости конденсатора настройки C влияние конденсатора $C_{пос}$ начнет сказываться все значительнее, и частота гетеродина не будет уменьшаться так интенсивно, как без этого конденсатора. Можно так подобрать величину емкости конденсатора $C_{пос}$, что на низкочастотном конце диапазона будет также точное сопряжение настроек гетеродинного и входного контуров. Обратим внимание, что знак погрешности сопряжения Δf при этом иной, нежели при сопряжении с помощью конденсатора $C_{пар}$, т. е. при сопряжении с помощью конденсатора $C_{пар}$ фактическая промежуточная частота превышает номинальное значение $f_п$, а при сопряжении с помощью конденсатора $C_{пос}$, наоборот, меньше номинального значения $f_п$.

Значительно лучшие результаты можно получить, объединив оба способа сопряжения, включив в гетеродинный контур оба конденсатора $C_{пар}$ и $C_{пос}$. В этом случае можно получить сопряжение в трех точках диапазона: в середине с помощью соответствующего выбора индуктивности $L_г$ (подбор ее производят при среднем положении конденсатора настройки C, когда приемник настроен на среднюю ча-

стоту диапазона), на низкочастотном конце диапазона с помощью конденсатора $C_{пос}$ и на высокочастотном конце с помощью конденсатора $C_{пар}$ (рис. 18, *д*). Кривая сопряжения при этом имеет S-образную форму с максимумами погрешности сопряжения Δf_1 и Δf_2 по обе стороны от средней точки точного сопряжения. Абсолютные же значения погрешности сопряжения Δf в этом случае еще меньше, чем при сопряжении в двух точках.

Кстати, а какая максимальная погрешность сопряжения допустима в супергетеродинном приемнике? Имейте в виду, это серьезный вопрос и в нем надо хорошо разобраться.

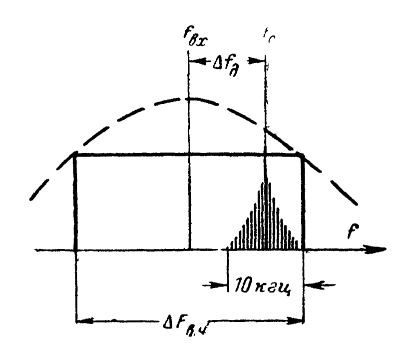


Рис. 20. О выборе допустимой величины погрешности $\Delta f_д$.

Итак, можно сказать, что погрешность сопряжения — это отклонение частоты настройки входного контура $f_{вх}$ от частоты принимаемой радиостанции f_c. На первый взгляд кажется, что вообще нельзя допускать никакой погрешности сопряжения, и входной контур всегда (в любой точке диапазона) должен быть настроен на частоту сигнала принимаемой радиостанции. Однако это не так. Ведь входной контур имеет определенную полосу пропускания, причем она зависит как от добротности контура, так и от частоты, на которой он работает. Например, на коротковолновом диапазоне и при невысокой добротности входного контура его полоса пропускания составляет около 100 *кгц*. Естественно, что расстройка Δf резонансной частоты входного контура относительно частоты принимаемой радиостанции f_c будет сказываться только в том случае, если частота f_c выйдет за пределы полосы пропускания входного контура, т. е. когда Δf больше половины полосы пропускания $\Delta F_{в.ч}$ входного контура.

Однако вспомните, что для неискаженного звучания радиопередачи приемник должен равномерно усиливать весь спектр частот, передаваемых радиостанцией Ширина этого спектра радиовещательной станции равна 10 *кгц*. Посмотрите теперь на рис. 20: на нем изображена частотная характеристика входного контура, показанная в пределах полосы пропускания $\Delta F_{в.ч}$ на уровне 0,7. Естественно, что если спектр боковых частот радиостанции не выйдет за пределы полосы пропускания входного контура $\Delta F_{в.ч}$, то вреда от расстройки резонансной частоты входного контура относительно частоты f_c не будет. Очевидно, что допустимая (предельная) расстройка $\Delta f_д$ не должна превышать величины, показанной на рис. 20, т. е.

$$\Delta f_д = \frac{\Delta F_{в.ч}}{2} - \frac{10}{2} \text{ кгц}.$$

Но надо заметить, что полоса пропускания входного контура при перестройке приемника по диапазону не остается одинаковой, так как

она зависит от частоты. На уровне 0,7 полоса пропускания контура выражается формулой

$$\Delta F_{в.ч} = П = \frac{f_{рез}}{Q}.$$

При перестройке приемника по диапазону резонансная частота контура $f_{рез}$ изменяется в n раз (n — перекрытие по частоте). А вот добротность контура Q почти не изменяется. Поэтому, как можно заключить из формулы, полоса пропускания контура на высокочастотном конце диапазона примерно в n раз шире, чем на низкочастотном. Подсчитанная полоса пропускания высокочастотных контуров на различных участках длинноволнового, средневолнового и коротковолнового диапазонов (при определенных добротностях контуров) и соответствующая этой полосе допустимая погрешность сопряжения $\Delta f_д$ приведены в табл. 1. Из этой таблицы видно, что допустимая погрешность изменяется по диапазону значительнее, чем полоса пропускания входных контуров: полоса пропускания на всех диапазонах изменяется в 3 раза, а допустимая погрешность сопряжения на длинноволновом диапазоне изменяется в 8, на средневолновом в 5, на коротковолновом в 4 раза. Из этого можно сделать вывод, что не обязательно добиваться одинаково малой погрешности сопряжения на различных участках диапазона. Например, на высокочастотном конце диапазона, где полоса пропускания входных контуров шире, можно допустить бо́льшую погрешность сопряжения, но зато уменьшить погрешность сопряжения на низкочастотном конце, где полоса пропускания входных контуров у́же.

Таблица 1

Диапазон	Участок диапазона	Добротность катушки Q	Фактическая полоса пропускания фильтра $\Delta F_{в.ч}$, *кгц*	Допустимая погрешность сопряжения $\Delta f_д$, *кгц*
ДВ	ВЧ конец	12	42	16
	середина		28	9
	НЧ конец		14	2
СВ	ВЧ конец	25	60	25
	середина		40	15
	НЧ конец		20	5
КВ	ВЧ конец	100	120	55
	середина		80	35
	НЧ конец		40	15

Но разве есть какая-либо зависимость между погрешностями на высокочастотном и низкочастотном концах диапазона?

Да, есть. Посмотрите на рис. 21. По существу это рис. 18, *д*, но по вертикальной оси отложена разность частот настроек гетеро-

динного и входного контуров $f_г—f_{вх}$. Поэтому промежуточная частота $f_п$ выразится на этом графике прямой линией. Кривая *3* соответствует тому случаю сопряжения, о котором мы говорили выше: крайние точки точного сопряжения совпадают с концами диапазона, а средняя точка — со средней частотой диапазона $f_{ср}$. Теперь следите внимательно.

Если уменьшить индуктивность гетеродинного контура, то кривая сопряжения поднимется и перейдет в кривую *1*. Погрешность сопряжения на концах диапазона станет положительной. Чтобы опустить концы кривой и добиться точного сопряжения на концах диапазона, надо увеличить емкости обоих конденсаторов (кривая *2*). И, наоборот, при увеличении индуктивности гетеродинного контура кривая *3* перейдет в кривую *5*, а затем при уменьшении сопрягающих емкостей — в кривую *4*. Крайние частоты у гетеродинного контура (кривые *2*, *3* и *4*) равны, следовательно, одинаковы и перекрытия по частоте. Но индуктивности гетеродинного контура и емкости сопрягающих конденсаторов различны, т. е. при сопряжении с помощью двух сопрягающих конденсаторов одно и то же перекрытие по частоте может быть получено при различных значениях емкостей сопрягающих конденсаторов; при этом чем больше индуктивность гетеродинного контура, тем меньше емкости сопрягающих конденсаторов и, наоборот, чем меньше индуктивность, тем больше емкости сопрягающих конденсаторов.

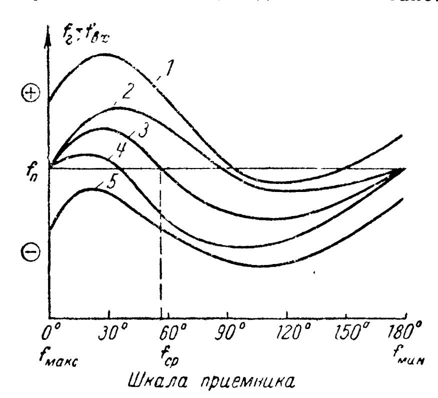


Рис. 21. При изменении частот точного сопряжения изменяется величина погрешности сопряжения Δf.

При уменьшении индуктивности гетеродинного контура точка точного сопряжения в середине диапазона перемещается к низкочастотному концу. Погрешность сопряжения в этой части диапазона уменьшается, а в высокочастотной части диапазона увеличивается. При увеличении индуктивности, наоборот, точка точного сопряжения в середине диапазона перемещается к высокочастотному концу. Погрешность сопряжения в этой части диапазона уменьшается, а в низкочастотной части увеличивается (кривые *2* и *4*).

Наименьшая погрешность при сопряжении в трех точках (на концах диапазона и в его середине) получается в том случае, когда она на обеих частях диапазона одинакова, т. е. при точном сопряжении на средней частоте диапазона, рассчитанной по формуле

$$f_{ср} = \frac{f_{мин} + f_{макс}}{2}.$$

Теперь интересно сообщить следующее: погрешность сопряжения на коротковолновом диапазоне при выбранных частотах точного

сопряжения $f_{мин}$, $f_{ср}$ и $f_{макс}$ будет составлять $\Delta f \approx 26$ *кгц*. На низкочастотном конце диапазона это превосходит допустимую погрешность $\Delta f_д$ (см. табл. 1). На длинноволновом и средневолновом диапазонах погрешность сопряжения несколько меньше, но все же значительно превосходит допустимую величину $\Delta f_д$.

Если увеличить емкость конденсатора $C_{пар}$ и одновременно уменьшать емкость конденсатора $C_{пос}$, то можно значительно уменьшить погрешность сопряжения в каждой части диапазона. Тогда точное сопряжение будет уже не на концах диапазона, а на некоторых частотах $f_в$ и $f_н$ внутри диапазона. Погрешность сопряжения на концах диапазона при этом увеличится, но зато уменьшится общая погрешность по диапазону. Приближая частоту точного сопряжения $f_в$ или $f_н$ к соответствующему концу диапазона, можно уменьшить погрешность на конце диапазона, но погрешность внутри диапазона при этом увеличится, и наоборот. При равенстве погрешностей сопряжения на концах и внутри диапазона общая погрешность сопряжения получается минимальной, причем это происходит при точном сопряжении на следующих частотах

$$\left.\begin{aligned} f_в &= f_{ср} + \frac{\sqrt{3}}{4}(f_{макс} - f_{мин}); \\ f_{ср} &= \frac{f_{мин} + f_{макс}}{2}; \\ f_н &= f_{ср} - \frac{\sqrt{3}}{4}(f_{макс} - f_{мин}). \end{aligned}\right\} \quad Б$$

Условимся, что сопряжение, при котором точки точного сопряжения на краях диапазона совпадают с минимальной и максимальной частотами диапазона, будем называть сопряжением типа А. Другое сопряжение, о котором было только что рассказано, назовем сопряжением типа Б. Погрешности при этом сопряжении уже почти укладываются в допустимые пределы: на коротковолновом диапазоне 12—15 *кгц*; на средневолновом 6—8 *кгц*; на длинноволновом 3—4 *кгц*.

Но все же на низкочастотных концах диапазонов сопряжение по типу Б не обеспечивает достаточно малой погрешности Δf. Например, по данным табл. 1, на низкочастотном конце диапазона погрешность сопряжения не должна превышать 2 *кгц*, а погрешность при сопряжении по типу Б достигает 4 *кгц*. Конечно, расхождение невелико, причем надо учитывать, что данные по Δf и $\Delta f_д$ приблизительные, но все же они показывают, что погрешность «на пределе». Однако вспомним, что сопряжения по типу А и Б давали одинаковую максимальную погрешность по диапазону. А это вовсе не нужно, поскольку полоса пропускания входного контура на высокочастотном конце диапазона почти в 3 раза шире, чем на низкочастотном. Поэтому вернемся к сопряжению по типу А (рис 21, кривая *3*), но передвинем точку точного сопряжения в середине диапазона ближе к низкочастотному концу диапазона. При этом погрешность сопряжения на низкочастотной части диапазона уменьшится, т. е. произойдет как раз то, что нам надо. Правда, погрешность сопряжения на высокочастотной части увеличится, но это вполне допустимо. Надо

только так подобрать частоту точного сопряжения в середине диапазона $f_{ср}$, чтобы погрешности на концах диапазонов не превосходили допустимых. Для этого должны быть выбраны следующие частоты точного сопряжения:

$$\left.\begin{aligned} f_{в} &= f_{макс}; \\ f_{ср} &= \sqrt{f_{макс} f_{мин}}; \\ f_{н} &= f_{мин}. \end{aligned}\right\} \qquad \text{В}$$

Назовем это сопряжением по типу В.

Но и это сопряжение можно улучшить, если, не изменяя частоты точного сопряжения в середине диапазона, осуществить точное

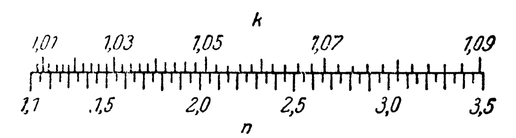


Рис. 22. Номограмма для определения вспомогательного коэффициента k по коэффициенту перекрытия диапазона n.

сопряжение не на концах диапазона, а на частотах $f_{в}$ и $f_{н}$, отстоящих на некотором расстоянии от концов диапазона:

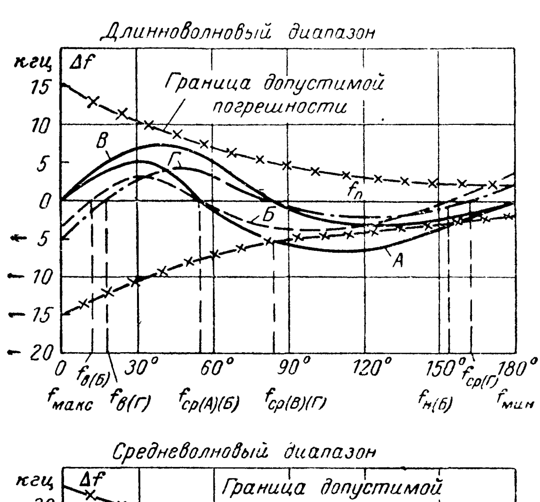
$$\left.\begin{aligned} f_{в} &= \frac{f_{макс}}{k}; \\ f_{ср} &= \sqrt{f_{макс} f_{мин}}; \\ f_{н} &= k f_{мин}, \end{aligned}\right\} \qquad \text{Г}$$

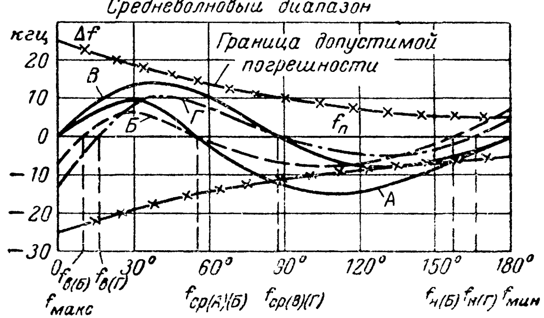
где k — коэффициент, зависящий от перекрытия по частоте и определяемый по номограмме, приведенной на рис. 22 (n — коэффициент перекрытия диапазона по частоте).

Частота $f_{в}$ при этом сопряжении, называемом сопряжением по типу Г, выбрана такой, чтобы погрешность между точками $f_{в}$ и $f_{ср}$ была несколько меньше погрешности на высокочастотном конце диапазона. Частота же $f_{н}$, наоборот, выбрана такой, чтобы погрешность между точками $f_{н}$ и $f_{ср}$ была больше погрешности на низкочастотном конце диапазона.

На рис. 23 сведены вместе графики для всех четырех типов сопряжений. По вертикальной оси отложена погрешность сопряжения Δf. Кроме кривых сопряжения, на графиках приведены границы допустимой погрешности сопряжения для стандартных радиовещательных диапазонов: длинноволновый диапазон 150—415 *кгц*, средневолновый 520—1 600 *кгц*, коротковолновый 3,95—12,1 *Мгц*. Для этих диапазонов в табл. 2 указаны частоты точного сопряжения при различных типах сопряжений

До сих пор о сопряжении говорилось, так сказать, теоретически. Теперь определим, сопряжение какого типа выгоднее всего применять. Как видно из графиков рис. 23, на длинноволновом и средневолновом диапазонах могут применяться только сопряжения типа Б, В и Г, причем выбор того или иного типа сопряжения определяется





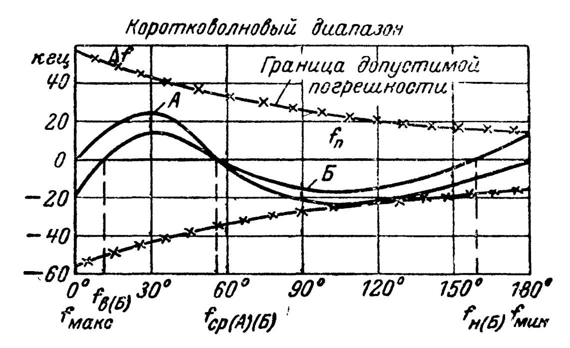


Рис. 23 Кривые сопряжения для различных типов сопряжения (А, Б, В, Г).

Таблица 2

Диапазон	Частота, *кгц*											
	Сопряжение А			Сопряжение Б			Сопряжение В			Сопряжение Г		
	$f_н$ (А)	$f_{ср}$ (А)	$f_в$ (А)	$f_н$ (Б)	$f_{ср}$ (Б)	$f_в$ (Б)	$f_н$ (В)	$f_{ср}$ (В)	$f_в$ (В)	f (Г)	$f_{ср}$ (Г)	$f_в$ (Г)
ДВ	150	282	415	167	282	397	150	249	415	161	249	386
СВ	520	1 060	1 600	529	1 060	1 528	520	912	1 600	562	912	1 480
КВ	3 950	8 025	12 100	4 065	8 025	11 985	3 950	6 910	12 100	4 260	6 910	11 220

характером изменения полосы пропускания входных контуров. Например, если полоса пропускания расширяется к высокочастотному концу диапазона, то в простых конструкциях можно применить сопряжение типа В как наиболее простое В сложных приемниках с усилителем высокой частоты и несколькими высокочастотными контурами лучше всего применять сопряжение типа Г. Наконец, в тех случаях, когда характер изменения полосы пропускания по диапазону неизвестен, лучше всего применить сопряжение типа Б как обеспечивающее минимальную погрешность, одинаковую по всему диапазону.

В транзисторных малогабаритных приемниках для настройки контуров обычно применяют блок конденсаторов с твердым диэлектриком. При настройке контура конденсатором с твердым диэлектриком возможно уменьшение добротности контура в низкочастотной части диапазона из-за увеличения объема диэлектрика между пластинами конденсатора и в результате полоса пропускания такого контура изменяется не так сильно по диапазону. Здесь лучше всего применить сопряжение типа Б.

На коротковолновом диапазоне полоса пропускания входных контуров широка и, следовательно, условия сопряжения гораздо легче. Поэтому на этом диапазоне можно применять даже простое сопряжение типа А. В высококачественных приемниках на коротковолновом диапазоне желательно применять сопряжение типа Б, так как добротность высокочастотных контуров обычно уменьшается к низкочастотному концу даже при настройке контура конденсатором с воздушным диэлектриком. Однако вследствие увеличения емкости контура характер изменения добротности высокочастотных контуров, а следовательно, и полосы пропускания зависят от материала сердечника и каркаса катушки. При плохом качестве сердечника или каркаса добротность контура может снижаться к высокочастотному концу диапазона вследствие возрастания потерь в сердечнике и каркасе, что особенно заметно на частотах более 12—15 *Мгц*.

Ранее уже упоминалось, что коротковолновый диапазон очень густо «заселен» радиостанциями. Поэтому настройка на нем затруднена. Это осложняется еще тем обстоятельством, что настройка на коротких волнах очень острая: чуть тронешь ручку, и приемник уже перестроился на другую станцию. Последнее объясняется тем обстоятельством, что колебательный контур тем «чувствительнее» к изменению емкости, чем на более высокой частоте он работает — вспомните, об этом мы уже говорили. Если в длинноволновом диапазоне (на частоте 200 *кгц*) для перестройки гетеродина на 10 *кгц* (т. е на соседнюю станцию) требуется изменить емкость конденсатора настройки на величину ΔC, равную:

$$\Delta C_{(пф)} = \frac{253 \cdot 10^5}{L_{(мгн)} f^2_{1(кгц)}} - \frac{253 \cdot 10^5}{L_{(мгн)} f^2_{2(кгц)}} = \frac{253 \cdot 10^5}{2{,}2 \cdot 200^2} - \frac{253 \cdot 10^5}{2{,}2 \cdot 210^2} = 288 - 260 = 28 \text{ пф},$$

то в коротковолновом диапазоне (на частоте 10 *Мгц*) для такой же перестройки контура потребуется изменить емкость всего на величину

$$\Delta C'_{(пф)} = \frac{253 \cdot 10^2}{L_{(мкгн)} f^2_{1(Мгц)}} - \frac{253 \cdot 10^2}{L_{(мкгн)} f^2_{2(Мгц)}} = \frac{253 \cdot 10^2}{1{,}4 \cdot 10^2} - \frac{253 \cdot 10^2}{1{,}4 \cdot 10{,}01^2} = 181 - 180 = 1 \text{ пф}.$$

Соответственно, если при настройке в длинноволновом диапазоне ось блока конденсаторов настройки придется повернуть, например, на 5°, то при настройке в коротковолновом диапазоне ось блока придется повернуть всего на доли градуса. Вот почему такая острая настройка на коротковолновом диапазоне.

Но это еще не все. Радиовещательные станции распределены по коротковолновому диапазону очень неравномерно. Они работают только на узких участках диапазона: 3,95 — 4,1 *Мгц* (75,95—73 *м*); 5,95—6,2 *Мгц* (50,5—48,4 *м*); 7,15—7,3 *Мгц* (42—41,2 *м*); 9,5 — 9,775 *Мгц* (30,6—30,7 *м*); 11,7—11,975 *Мгц* (25,6—25,05 *м*); 14,9—15,6 *Мгц* (20,14—19,23 *м*); 17,25—18,25 *Мгц* (17,1—16,43 *м*). Поэтому радиовещательному приемнику вовсе нет необходимости перекрывать весь коротковолновый диапазон, а достаточно осуществлять прием только в указанных его участках, «растянув» эти участки на всю шкалу. В этом случае острота настройки значительно уменьшится, так как при повороте оси блока конденсаторов настройки на 180° перекрывается не весь коротковолновый диапазон, а только участок в 200—300 *кгц*.

Такие приемники называют «приемниками с растянутыми КВ диапазонами». Выражение «растянутые диапазоны» не совсем правильно, так как фактически растягивают не диапазоны, а шкалу узкого отрезка диапазона, но название это давно укоренилось и мы будем им пользоваться. О том, каким способом осуществляют в приемнике столь малое перекрытие по диапазону при повороте оси блока конденсаторов настройки на 180°, я расскажу несколько позднее. Сейчас же рассмотрим сопряжение в приемниках с такими коротковолновыми диапазонами.

Растянутыми называют обычно диапазоны с перекрытием по частоте n не более 1,2. Диапазоны с перекрытием по частоте $n \approx 2$ называют полурастянутыми. На таких диапазонах обычно применяют сопряжение в двух точках с помощью одного сопрягающего конденсатора $C_{пар}$. Частоты точного сопряжения на таких диапазонах можно подсчитать по следующим формулам:

$$f_в = f_{макс} - \frac{1}{6}(f_{макс} - f_{мин});$$

$$f_н = f_{мин} + \frac{1}{6}(f_{макс} - f_{мин}).$$

На растянутых коротковолновых диапазонах можно применять сопряжение только в середине диапазона и обойтись вообще без сопрягающих конденсаторов. Например, погрешность сопряжения на концах диапазона при $n = 1{,}1$ и $f_п = 465$ *кгц* составляет около 20 *кгц* и не превосходит допустимой. При еще меньшем перекрытии по частоте входной контур может иметь фиксированную настройку на среднюю частоту растянутого диапазона. В заключение привожу таблицу (см. табл. 3) с типовыми данными контурных катушек гетеродина.

Таблица 3

Диапазон и назначение катушки	Индуктивность, *мкгн*	Число витков	Марка и диаметр провода: ПЭЛШО	Марка и диаметр провода: ПЭВ	Отвод в схеме гетеродина с автотрансформаторной связью
Катушки с карбонильными сердечниками СЦР					
ДВ, контурная	270	3×60	0,2	0,3	От 20-го витка
СВ, контурная	95	2×45	0,2	0,3	От 15-го витка
КВ, контурная	1,3	12	0,6	0,6	От 4-го витка
ДВ, обратной связи	—	55	0,1	0,15	—
СВ, обратной связи	—	28	0,1	0,15	—
КВ, обратной связи	—	5	0,1	0,15	—
Катушки с броневыми карбонильными сердечниками					
ДВ, контурная	270	3×35	0,1	0,15	От 20-го витка
СВ, контурная	95	3×20	0,1	0,15	От 8-го витка
ДВ, обратной связи	—	30	0,1	0,15	—
СВ, обратной связи	—	19	0,1	0,15	—
Катушки с ферритовыми сердечниками					
ДВ, контурная	270	3×65	0,1	0,15	От 12-го витка
СВ, контурная	95	3×50	0,1	0,15	От 10-го витка
КВ, контурная	1,3	13,5	0,44	0,44	От 6-го витка
ДВ, обратной связи	—	40	0,1	0,2	—
СВ, обратной связи	—	30	0,1	0,2	—
КВ, обратной связи	—	12	0,1	0,2	—

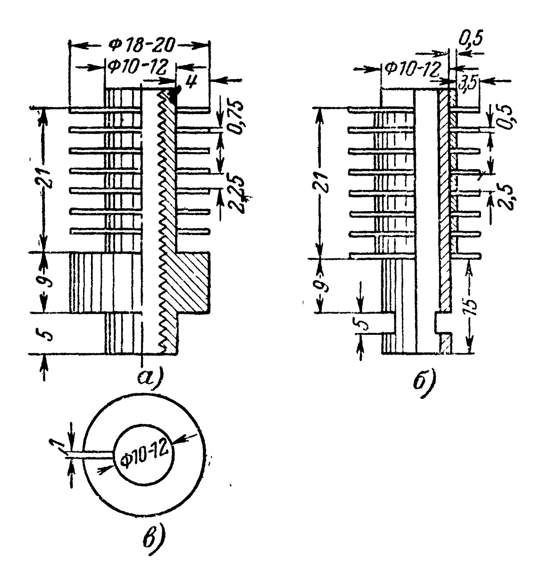


Рис. 24. Каркасы для катушек с карбонильными сердечниками типа СЦР (катушки КВ диапазона наматывают без щечек; контурные катушки наматывают в трех секциях; в верхних секциях наматывают катушки связи).

а — точеный каркас из оргстекла, *б* — картонный клееный каркас; *в* — щечка картонного каркаса.

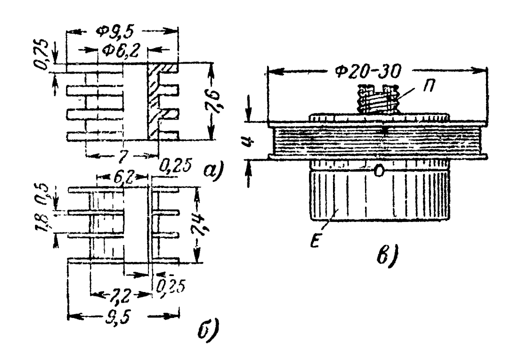


Рис. 25. Каркасы катушек в броневых сердечниках типа СБ.

а — каркас из полистирола или оргстекла; *б* — каркас из картона или целлулоида; *в* — устройство катушки связи.

В этой таблице вы найдете количество витков катушек, намотанных на различных каркасах и с различными сердечниками (рис. 24, 25 и 26). Помните только, что эти катушки рассчитаны на стандартные радиовещательные диапазоны, промежуточную частоту 465 *кгц* и блок конденсаторов настройки с начальной емкостью 17—20 и конечной 470—510 *пф*.

И наконец, небольшое «отступление»: мы все время говорим о настройке гетеродина выше частоты принимаемого сигнала, хотя возможна и такая настройка: $f_c - f_г = f_п$, когда частота гетеродина ниже частоты принимаемого сигнала.

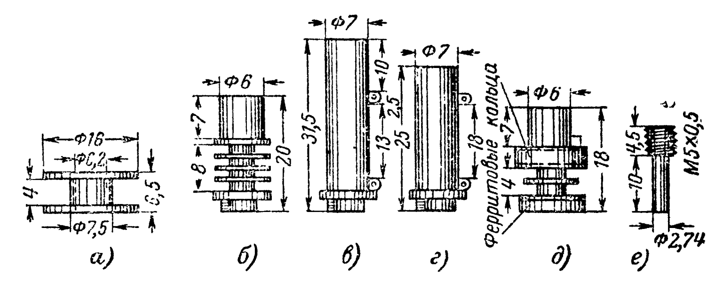


Рис. 26. Катушки с ферритовыми сердечниками.

а — каркас для катушек связи; *б* — каркас для катушек СВ и ДВ диапазонов, *в*, *г* — каркасы для катушек КВ диапазона; *д* — каркас для катушек фильтра промежуточной частоты; *е* — подстроечный сердечник

Конечно, принципиально такая настройка гетеродина возможна, но она не выгодна и вот почему: при «верхней» настройке коэффициент перекрытия по частоте гетеродинного контура $K_{г.в}$ значительно меньше, чем при «нижней» настройке. Давайте проделаем простейший расчет, и вы убедитесь, что это так.

Коэффициент перекрытия по частоте при «верхней» настройке гетеродина или, как еще говорят, коэффициент диапазона выражается формулой

$$K_{г\,в} = \frac{f_{макс} + f_п}{f_{мин} + f_п}.$$

О «нижней» настройке гетеродина на длинноволновом диапазоне вообще говорить не будем — она принципиально невозможна, так как промежуточная частота выше частот этого диапазона. Для средневолнового диапазона о «нижней» настройке в принципе можно говорить, но коэффициент диапазона в этом случае окажется столь большим, что его практически нельзя осуществить при настройке гетеродина конденсатором из общего блока: [1]

$$K_{г.н} = \frac{f_{макс} - f_п}{f_{мин} - f_п} = \frac{1\,600 - 465}{520 - 465} \approx 21.$$

[1] Вспомните, на стр. 28 мы подсчитывали коэффициент перекрытия при стандартном блоке конденсаторов настройки ($C_{мин} = 10$ *пф*, $C_{макс} = 490$ *пф*). Он оказался равным 7.

В то же время при «верхней» настройке этот коэффициент всего $\frac{1\,600+465}{520+465} \approx 2{,}1$.

На коротких волнах «нижняя» настройка гетеродина вполне осуществима, но и в этом случае коэффициент диапазона больше, чем при «верхней» настройке:

$$K_{г.н} = \frac{f_{макс} - f_п}{f_{мин} - f_п} = \frac{12\,100 - 465}{3\,950 - 465} \approx 3{,}34;$$

$$K_{г.в} = \frac{f_{макс} + f_п}{f_{мин} + f_п} = \frac{12\,100 + 465}{3\,950 + 465} \approx 2{,}85.$$

Разница в коэффициентах на коротковолновом диапазоне, конечно, не столь велика, как на средневолновом, но чем меньше перекрытие по частоте гетеродинного контура, тем лучше. Крутизна преобразования, а следовательно, и амплитуда напряжения промежуточной частоты зависят от амплитуды напряжения гетеродина. Но при большом перекрытии по частоте очень трудно добиться от гетеродина постоянства амплитуды по диапазону. Это приводит к изменению амплитуды напряжения промежуточной частоты и чувствительности приемника по диапазону

Но на коротких волнах, особенно если коэффициент диапазона невелик или настройка гетеродина фиксирована (неизменна, т. е. приемник постоянно настроен на одну и ту же частоту), более выгодна «нижняя» настройка гетеродина, так как чем ниже частота, тем проще добиться стабильной работы гетеродина.

О КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Один из наиболее ответственных моментов в конструировании и налаживании радиоприемника — это правильный выбор и настройка его колебательных контуров. И это совсем не простая задача. Вы уже убедились, как важно обеспечить точное сопряжение настроек входного и гетеродинного контуров. Но не менее важно правильно выбрать полосу пропускания входных контуров, подобрать необходимую добротность, обеспечить нужное перекрытие по частоте.

Начнем с одиночного колебательного контура, полная схема которого изображена на рис. 27. При расчетах приходится учитывать значение индуктивности катушки контура L и значение полной емкости контура $C_к$, которая складывается из емкости переменного конденсатора C, емкости подстроечного конденсатора $C_п$, а также из емкости схемы контура $C_{сх}$, в которую входит собственная емкость катушки $C_о$, емкость монтажа $C_м$ и входная емкость лампы $C_{вх}$ (или транзистора), в сеточную цепь которой включен этот контур. Таким образом:

$$C_к = C + C_п + C_{сх},$$

где

$$C_{сх} = C_о + C_м + C_{вх}.$$

Рассчитать или измерить емкости $C_о$ и $C_м$ трудно. Ориентировочные значения этих величин указаны в табл. 4.

Таблица 4

Диапазон	$C_о$, *пф*	$C_м$, *пф*	$C_{сх}$, *пф*
ДВ	15—20	10	25—30
СВ	5—10	10	15—20
КВ	1—5	7—10	8—15

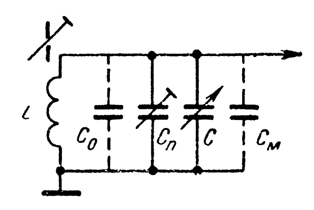


Рис. 27. Схема одиночного колебательного контура.

Контур настраивается на различные частоты конденсатором переменной емкости *С*. Это — основной орган настройки. В большинстве случаев колебательный контур имеет еще два дополнительных органа настройки, предназначенных для настройки контура в пределах необходимого диапазона частот. Это магнитоэлектрический подстроечный сердечник катушки индуктивности и подстроечный (полупеременный) конденсатор небольшой емкости $C_п$. Сердечник позволяет изменять индуктивность катушки в пределах не менее 5—10%; изменением индуктивности настраивают контур на минимальную частоту диапазона, причем чем больше индуктивность, тем на более низкую частоту настроен контур. С помощью подстроечного конденсатора настраивают контур на максимальную частоту диапазона, причем чем меньше емкость этого конденсатора, тем на более высокую частоту настроен контур. В качестве подстроечных конденсаторов наиболее часто применяют керамические подстроечные конденсаторы (КПК).

Конечно, настройку контура на тот или иной конец диапазона производят при соответствующем значении емкости конденсата переменной емкости *С*. Она должна быть минимальной на высокочастотном конце диапазона и максимальной на низкочастотном конце. В зависимости от назначения приемника (всеволновый радиослушательский, связной коротковолновый и т. п) применяют различные конденсаторы настройки, данные которых приведены в табл. 5.

Таблица 5

Приемник	Емкость конденсатора настройки, *пф*	
	максимальная	минимальная
Всеволновый:		
ДВ, СВ, КВ . . .	490—550	15—20
Коротковолновый:		
3,0—6,0 *Мгц* . . .	150—250	8—10
6,0—30,0 *Мгц* . . .	50—150	6—10

Точное значение коэффициента перекрытия по частоте (коэффициента диапазона) определяется изменением емкости конденсатора настройки от $C_{мин}$ до $C_{макс}$ с учетом емкости схемы $C_{сх}$

$C_{сх}$ обычно составляет около 20—30 *пф* на коротких волнах и 30—50 *пф* на длинных волнах):

$$K_д = \frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \sqrt{\frac{C_{макс} + C_{сх}}{C_{мин} + C_{сх}}}.$$

Если вы помните, на стр. 28 мы уже проделали расчет коэффициента перекрытия по частоте. Там мы получили этот коэффициент, равный 7. Но тогда мы не учитывали емкость схемы $C_{сх}$, предполагая, что емкость контура определяется только емкостью конденсатора настройки и изменяется от $C_{мин} = 10$ *пф* до $C_{макс} = 490$ *пф*, т. е. на 480 *пф* Но с учетом емкости схемы коэффициент диапазона (или, что то же, коэффициент перекрытия по частоте) на средневолновом диапазоне будет много меньше, всего

$$K_д = \sqrt{\frac{C_{макс} + C_{сх}}{C_{мин} + C_{сх}}} = \sqrt{\frac{490 + 30}{10 + 30}} = 3,6.$$

Обычно этот коэффициент для всеволнового радиовещательного приемника выбирают в пределах 2—3, а для коротковолнового 1,3—1,5. Уменьшение коэффициента $K_д$ в коротковолновом приемнике совершенно необходимо, так как это позволяет уменьшить число килогерц, приходящихся на один градус шкалы или на один градус угла поворота оси конденсатора переменной емкости Правда, в типовых радиовещательных приемниках настройка в пределах частот 3,95—12,1 *Мгц* иногда производится в пределах одного диапазона, но, вы, наверно, замечали, какая «острая» получается в этом случае настройка. Чтобы уменьшить остроту настройки на коротких волнах в приемнике, в котором работает блок конденсаторов с большим перекрытием по частоте (такое перекрытие необходимо при работе приемника на средневолновом и длинноволновом диапазонах), разбивают коротковолновый диапазон на несколько поддиапазонов, которые «растягивают».

Зная коэффициент $K_д$, можно определить среднее значение емкости подстроечного конденсатора $C_п$:

$$C_{п.ср} = \frac{C_{макс} - K_д^2 C_{мин}}{K_д^2 - 1} - C_{сх}.$$

Средняя величина емкости $C_п$ должна получиться по расчету положительной и не менее 5—10 *пф*, чтобы можно было регулировкой конденсатора $C_п$ скорректировать неточность выбора значения емкости $C_{сх}$. Если значение $C_п$ получается слишком малым или даже отрицательным (что невозможно на практике), то следует выбрать другой конденсатор настройки C или уменьшить коэффициент $K_д$, разбив заданный диапазон частот на несколько поддиапазонов.

Предположим, что в приемнике надо сделать «обзорный» коротковолновый диапазон от 3,95 до 16 *Мгц* Коэффициент диапазона для такого случая составляет:

$$K_д = \frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \frac{16}{3,95} \approx 4.$$

Тогда емкость подстроечного конденсатора

$$C_{п} = \frac{C_{макс} - K_{д}^{2} C_{мин}}{K_{д}^{2} - 1} - C_{сх} = \frac{490 - 4^{2} \cdot 10}{4^{2} - 1} - 25 =$$

$$= 22 - 25 = -3 пф?$$

Результат расчета (получение отрицательного значения емкости) показывает, что получить в приемнике столь широкий диапазон при выбранном конденсаторе настройки ($C_{мин} = 10$ *пф*, $C_{макс} = 490$ *пф*) невозможно. Для приема сигналов указанных частот в приемнике надо иметь два диапазона.

Определить индуктивность катушки контура с переменным конденсатором в пределах заданного диапазона частот[1], можно по следующей формуле

$$L = \frac{25\,300\,(K_{д}^{2} - 1)}{(C_{макс} - C_{мин})\, f_{макс}^{2}}\ [мкгн],$$

где $C_{макс} - C_{мин}$ — пределы изменения емкости конденсатора настройки, *пф*; $f_{макс}$ — в *Мгц*.

Рассчитаем для примера индуктивность контура, работающего в средневолновом диапазоне ($f_{мин} = 500$ *кгц*, $f_{макс} = 1\,650$ *кгц*). Требуемый коэффициент диапазона

$$K_{д} = \frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \frac{1\,650}{500} = 3{,}31.$$

Индуктивность контура

$$L = \frac{25\,300\,(K_{д}^{2} - 1)}{(C_{макс} - C_{мин})\, f_{макс}^{2}} = \frac{25\,300\,(3{,}31^{2} - 1)}{(490 - 10) \cdot 1{,}65^{2}} = 192\ мкгн.$$

Приведенные формулы позволяют рассчитать колебательный контур на любой диапазон частоты, а в радиолюбительской практике это часто встречающаяся задача — ведь не всегда можно достать готовые контурные катушки и именно на тот диапазон частот, который вас интересует. Однако эти формулы позволяют рассчитать только индуктивность и емкость контура, но ничего не говорят о количестве витков катушек индуктивности, их диаметре и проводе, которым надо наматывать эти катушки. Расчет таких данных сложен, так как надо учитывать влияние высокочастотных сердечников, собственную емкость катушки и прочие конструктивные факторы, которые в радиолюбительских условиях определить трудно. Поэтому в табл. 6 приведены данные типовых контурных катушек с

---

[1] Если контур предназначен для работы на неизменной частоте, то индуктивность подсчитывают по формуле

$$L = \frac{25\,300}{f_{рез}^{2} C_{к}}\ [мкгн],$$

где $f_{рез}$ — резонансная частота контура, *Мгц*;
$C_{к}$ — полная емкость контура, *пф*.

Таблица 6

Диапазон и назначение катушки	Индуктивность, *мкгн*	Число витков	Марка и диаметр провода	
			ПЭЛШО	ПЭВ
Катушки с карбонильными сердечниками СЦР				
ДВ, антенная	10 000	3×350	—	0,1
ДВ, контурная	2 200	3×150	0,1	0,15
СВ, антенная	1 000	3×120	—	0,1
СВ, контурная	200	3×40	0,2	0,27
КВ, антенная	2,1	20	0,1	0,15
КВ, контурная	1,4	13	—	0,6
Катушки с броневыми карбонильными сердечниками СБ-1а				
ДВ, антенная	10 000	600	0,1	0,15
ДВ, контурная	2 200	3×100	0,1	0,15
СВ, антенная	1 000	300	0,1	0,15
СВ, контурная	200	3×27	0,1	0,15
Катушки с ферритовыми сердечниками				
ДВ, антенная	10 000	1 200	—	0,1
ДВ, контурная	2 200	3×170	—	0,1
СВ, антенная	1 000	400	—	0,1
СВ, контурная	200	3×45	0,1	0,15
КВ, антенная	2,1	30	0,1	0,15
КВ, контурная	1,4	15	0,44	0,44

различными высокочастотными сердечниками, рассчитанных на стандартные радиовещательные диапазоны. Основываясь на этих данных, можно определить примерное число витков и для «нетиповых» катушек (о конструкции катушек см. стр. 41—42).

Определив примерное число витков катушки и подсчитав по приведенным формулам индуктивность и емкость контура (почти вся индуктивность контура сосредоточена в его катушке, а почти вся емкость — в конденсаторе), надо намотать катушку и измерить ее индуктивность любым доступным вам способом, например с помощью куметра или резонансным методом с помощью генератора стандартных сигналов. (Прочитать о таких измерениях можно в журнале «Радио», № 1—4, 1966). Если измеренное значение индуктивности отличается от расчетного, то надо немного изменить число витков, вновь измерить индуктивность и таким образом подобрать нужное число витков.

Вы, вероятно, заметили, что до сих пор коэффициент $K_д$ определялся пределами изменения емкости конденсатора настройки C. По нашим рассуждениям получалось, что если нужно изменить коэффициент диапазона (например, из соображений плотности настройки на один градус шкалы), то требуется взять конденсатор настройки с другими значениями $C_{макс}$ и $C_{мин}$. Конечно, получить

больший коэффициент $K_д$ можно только таким способом; однако если требуется меньший коэффициент $K_д$, то можно использовать этот же конденсатор, но «растянув» диапазон. Для этого в схему контура вводят дополнительные конденсаторы, подключаемые параллельно и последовательно конденсатору настройки C.

Предположим, что мы строим всеволновый приемник. Поэтому выберем конденсатор настройки с большим перекрытием: $C_{мин}=15$ *пф*, $C_{макс}=450$ *пф*. На коротковолновом диапазоне настройка таким конденсатором получится очень плотной и поэтому мы принимаем решение разбить коротковолновый диапазон на четыре поддиапазона: диапазон со стандартным перекрытием 3,95—7,5 *Мгц* и три растянутых диапазона: 9,1—10 *Мгц*, 11,4—12,1 *Мгц* и 14,9—15,6 *Мгц*. Заметим, что частоты гетеродина будут сдвинуты относительно частот входного контура на 0,465 *Мгц*. Так как перекрытие по частоте на растянутых диапазонах очень небольшое, то схемы входного и гетеродинного контуров примем одинаковыми, причем емкости конденсаторов в обеих схемах будут тоже одинаковыми, а индуктивности — разными. Следовательно, точное сопряжение получится только в одной точке (в середине растянутого диапазона), но ввиду малого коэффициента диапазона неточность сопряжения будет незначительна. Поэтому безразлично, какие контуры рассчитывать — гетеродинные или входные: разница будет только в значении индуктивности. Будем рассчитывать входные.

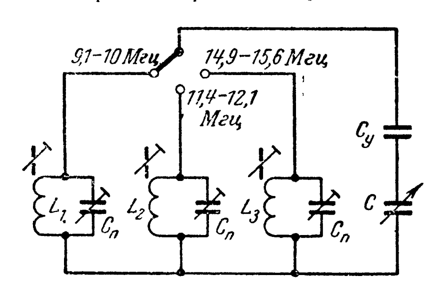


Рис 28 К расчету растянутой настройки.

Схема контуров растянутых диапазонов показана на рис. 28. Вначале надо определить индуктивность контура для наиболее высокочастотного диапазона 14,9—15,6 *Мгц*:

$$L = \frac{25\,300}{f^2_{макс}\ C_{к.мин}}.$$

Минимальную емкость контура $C_{к.мин}$ заранее определить трудно, так как в нее входят, кроме емкостей C_0, $C_м$, $C_{мин}$, $C_{вх}$, также неизвестные пока емкости параллельного конденсатора $C_п$ и конденсатора $C_у$. Суммарную емкость схемы $C_{сх}$ ориентировочно примем равной 20 *пф*. В этом случае будем считать, что минимальная емкость контура $C_{к.мин}$ равна, например, 40 *пф*. Тогда

$$L = \frac{25\,300}{15{,}6^2 \cdot 40} = 2{,}6\ мкгн.$$

Теперь по минимальной частоте диапазона $f_{мин}=14{,}9$ *Мгц* и выбранной индуктивности L можно определить максимальную емкость контура этого диапазона

$$C_{к\ макс} = \frac{25\,300}{f^2_{мин} L} = \frac{25\,300}{14{,}9^2 \cdot 2{,}6} = 44\ пф.$$

Разность значений емкостей $\Delta C = C_{к.макс} - C_{к.мин} = 44-40 = 4$ *пф*. Индуктивности контуров остальных диапазонов определяются по формуле

$$L = \frac{25\,300}{\Delta C}\left(\frac{1}{f^2_{мин}} - \frac{1}{f^2_{макс}}\right) [мкгн].$$

Подсчитанные по этой формуле индуктивности равны: $L_2 = 5{,}7$ *мкгн* и $L_1 = 13{,}4$ *мкгн*.

Индуктивности гетеродинного контура подсчитывают по формуле

$$L_г = \frac{25\,300}{C_{к.мин}(f_{макс} + f_п)^2} [мкгн],$$

где $f_{макс}$ — максимальная частота растянутого диапазона, *Мгц*.

Далее надо определить емкость конденсатора $C_у$, ограничивающего максимальную емкость конденсатора настройки:

$$C_у = \frac{\Delta C(C_{макс} + C_{мин}) + \ldots\rightarrow}{}$$

$$\leftarrow\ldots\frac{+\sqrt{[\Delta C(C_{макс}+C_{мин})]^2 + 4(C_{макс} - C_{мин} - \Delta C)C_{макс}C_{мин}\Delta C}}{2(C_{макс} - C_{мин} - \Delta C)} =$$

$$= 10{,}25\ пф \approx 10\ пф.$$

В качестве этого конденсатора можно использовать слюдяной или керамический с номинальным значением емкости 10 *пф*.

Остается определить максимальную емкость подстроечных конденсаторов $C_п$

$$C_п = C_{к.мин} - \frac{C_{мин}C_у}{C_{мин} + C_у} = 40 - \frac{15\cdot 10}{15+10} = 34\ пф.$$

Наиболее подойдет в качестве $C_п$ подстроечный конденсатор типа КПК-2 емкостью 6—60 *пф*.

В процессе настройки приемника, возможно, придется несколько подкорректировать величины индуктивностей и емкостей, так как мы ориентировочно оценивали емкости монтажа, собственную емкость катушки и пр.

Теперь поговорим об избирательности колебательного контура. Раньше уже было сказано, что избирательность характеризует ослабление сигнала мешающей радиостанции, работающей на частоте f, по сравнению с сигналом полезной радиостанции, частота которой совпадает с резонансной частотой контура $f_{рез}$. Обозначают избирательность индексом Se. Таким образом величина Se показывает, во сколько раз будет ослаблена амплитуда U сигнала посторонней радиостанции по сравнению с амплитудой полезного сигнала $U_{рез}$ (конечно, при одинаковой амплитуде этих сигналов, например в антенне):

$$Se = \frac{U_{рез}}{U}.$$

Естественно, что на величину избирательности Se оказывают влияние не только избирательные свойства контура, но и так называемая величина расстройки Δf, которая показывает, насколько да-

леко отстоит по частоте сигнал посторонней радиостанции от резонансной частоты контура:

$$\Delta f = f - f_{рез}.$$

При расчете избирательности растройку определяют в процентах

$$\Delta f_{\%} = \frac{f - f_{рез}}{f_{рез}} 100\% = \frac{\Delta f}{f_{рез}} 100\%.$$

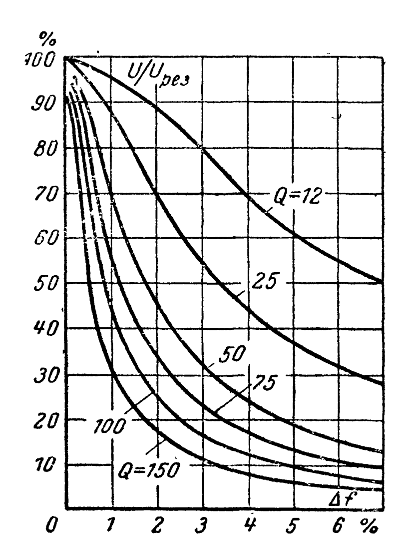


Рис. 29. Резонансные кривые колебательного контура в зависимости от Q и расстройки Δf.

Чем дальше отстоит частота посторонней радиостанции от резонансной частоты, т. е. чем больше расстройка, тем значительнее ослабление мешающего сигнала. Это станет понятным, если вы посмотрите на резонансную характеристику колебательного контура (рис. 29).

Часто избирательность Se определяют не в относительных единицах, а в децибелах. На стр. 23 уже было сказано о том, что такое децибел, поэтому здесь лишь достаточно указать, что перевести избирательность, выраженную в относительных единицах, в избирательность, выраженную в децибелах, можно по формуле

$$Se_{(дб)} = 20 \lg Se.$$

От чего же зависят избирательные свойства колебательного контура? В основном — от добротности Q его катушки индуктивности. Конденсатор контура, если он хорошего качества (например, воздушный, слюдяной или керамический), вносит очень мало электрических потерь, и поэтому добротность катушки в основном определяет добротность контура. Чем больше добротность Q, тем круче идут ветви резонансной характеристики контура (рис. 29).

Добротность катушки индуктивности определяют при помощи специального измерительного прибора — куметра. Однако я должен предупредить, что измеренная таким прибором добротность катушки всегда больше добротности колебательного контура с этой же катушкой, но включенной в схему приемника, так как цепи, подключенные к контуру в схеме (антенна, входная цепь лампы или транзистора и т. п), шунтируют контур и тем самым снижают его добротность. Поэтому реальная или эквивалентная добротность колебательного контура в схеме приемника $Q_э$ обычно составляет

$$Q_э = \frac{Q}{(1,1 \div 1,3)},$$

где Q — добротность катушки индуктивности, измеренная куметром.

Величина добротности катушки индуктивности зависит от многих факторов: потерь электрической энергии в проводах при прохождении по нему тока высокой частоты, потерь в изоляции проводов, в каркасе катушки, в магнитном сердечнике и т. п., причем эти потери тем выше, чем на более высокой частоте работает контур. Ориентировочно добротность катушек различных диапазонов указана в табл. 1. Если вы хотите получить контур высокой добротности, то для каркаса катушки надо применить высокочастотный диэлектрик, например изготовить каркас из высокочастотной пластмассы типа полистирола. или подобрать подходящий заводской каркас из высо-

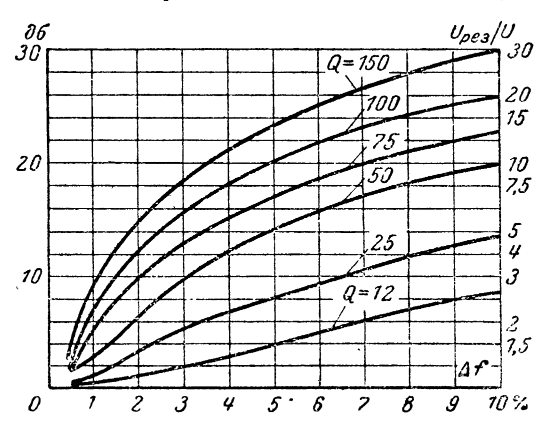


Рис. 30. Избирательность контура в зависимости от Q и расстройки Δf

кочастотной керамики, например радиофарфора. Еще лучше применить для катушки коротковолнового диапазона ребристый каркас — меньше материала, меньше потери. Каркасы из бумаги, эбонита, дерева и других материалов, вносящих большие электрические потери, значительно снижают добротность катушки. Если необходима пропитка обмотки катушки (например, чтобы уберечь катушку от сырости или закрепить витки на каркасе), то для этого надо использовать полистироловый лак. Высокочастотные подстроечные сердечники лучше всего применить ферритовые или карбонильные. Экранирование катушки уменьшает ее добротность ввиду потерь энергии в экране, но в ряде случаев оно необходимо для устранения паразитных связей между каскадами.

Предположим, что у нас имеется колебательный контур с катушкой определенной добротности. Мы ее измерили с помощью куметра или определили по паспорту катушки. Как же определить, какой избирательностью будет обладать контур с катушкой данной добротности? На рис. 30 приведены кривые, позволяющие определить избирательность Se колебательного контура при небольших расстройках, т. е. когда

$$\frac{\Delta f}{f_{рез}} 100 \leqslant 10\%.$$

При больших расстройках избирательность приближенно можно подсчитать по формуле

$$Se = Q_э \left(\frac{f}{f_{рез}} - \frac{f_{рез}}{f} \right).$$

Не забудьте только, что в расчеты надо вводить значение эквивалентной добротности $Q_э$.

Для примера сделаем следующий расчет: определим избирательность по соседнему и зеркальному каналам для контура, работающего в средневолновом диапазоне на частоте 1,5 *Мгц* (кстати, избирательность всегда определяют на максимальной частоте диапазона, потому что, чем выше частота, тем более пологой становится резонансная характеристика контура) Предположим, что добротность катушки индуктивности нашего контура, измеренная с помощью куметра, оказалась равной 30, и, следовательно, эквивалентная добротность равна:

$$Q_э = \frac{Q}{(1,1 \div 1,3)} = \frac{30}{1,2} = 25.$$

При уходе на $\Delta f = 10$ *кгц* от резонансной частоты $f_{рез} = 1\,500$ *кгц* расстройка, выраженная в процентах, составит:

$$\Delta f_{\%} = \frac{\Delta f}{f_{рез}} \cdot 100 = \frac{10}{1\,500} \cdot 100 = 0,66\%.$$

Далее надо найти на горизонтальной оси графика, приведенного на рис. 30, точку, соответствующую расстройке 0,66%. Но, взглянув на график, можно сказать заранее, что при такой небольшой расстройке контур будет так мало ослаблять сигнал посторонней радиостанции, что величину подавления даже невозможно определить по этому графику: ведь надо из точки на горизонтальной оси, соответствующей расстройке 0,66%, восстановить перпендикуляр и через точку его пересечения с кривой, соответствующей добротности $Q_э = 25$, провести горизонтальную линию до пересечения с вертикальными осями графика, на которых нанесены значения избирательности в относительных единицах и децибелах. Если вы все же хотите определить избирательность контура при такой расстройке, то ее придется подсчитать по формуле

$$Se = \frac{U_{рез}}{U} = \sqrt{1 + \left(\frac{Q}{50} \frac{\Delta f}{f_{рез}} 100 \right)^2} =$$

$$= \sqrt{1 + \left(\frac{25}{50} \frac{10}{1\,500} \cdot 100 \right)^2} \approx 1,05.$$

Чрезвычайно малая избирательность. Сигнал с частотой, отличающейся на 10 *кгц* от резонансной (т. е. сигнал соседней станции), проходит почти так же хорошо, как и сигнал принимаемой станции. Но так и должно быть: вспомните, ведь выше я говорил, что в супергетеродине избирательность по соседнему каналу определяется только трактом промежуточной частоты.

А как обстоит дело с избирательностью этого же контура по зеркальному каналу, т. е при расстройке на $2f_п=2\cdot465=930$ *кгц*? Очевидно, что при этом расстройка равна:

$$\Delta f_{\%}=\frac{\Delta f}{f_{рез}}\,100\%=\frac{930}{1\,500}\cdot100=62\%.$$

Избирательность контура при такой расстройке подсчитывают по приведенной ранее формуле ($f=f_{рез}+\Delta f=1\,500+930=2\,430$ *кгц*):

$$Se=Q_э\left(\frac{f}{f_{рез}}-\frac{f_{рез}}{f}\right)=25\left(\frac{2\,430}{1\,500}-\frac{1\,500}{2\,430}\right)\approx25,$$

или в децибелах : 20 lg 25=28 *дб*.

Это уже хорошая избирательность, и вы должны согласиться, что избирательность супергетеродина по зеркальному каналу обеспечивают именно контуры, включенные перед смесителем и настроенные на частоту принимаемого сигнала.

С помощью такого же простейшего расчета вы можете убедиться, то избирательность по соседнему каналу входного контура на коротковолновом диапазоне вообще ничтожно мала. Но вот на длинных волнах положение с избирательностью по соседнему каналу несколько изменяется. Если произвести расчет избирательности контура на какой-нибудь частоте длинноволнового диапазона, например на частоте 400 *кгц*, то расстройка на 10 *кгц* от этой частоты составит в процентах

$$\Delta f_{\%}=\frac{\Delta f}{f_{рез}}\,100=\frac{10}{400}\cdot100=2{,}5\%.$$

Примем, что на длинноволновом диапазоне добротность контура $Q_э$ =25. Из точки на горизонтальной оси графика на рис. 30, соответствующей расстройке 2,5%, восстановим перпендикуляр и продолжим его до пересечения с кривой $Q_э$ =25. Через точку их пересечения проведем горизонтальную линию до пересечения с вертикальными осями графика и определим избирательность контура при данной расстройке на длинноволновом диапазоне, т. е для частоты 410 или 390 *кгц*: избирательность на этих частотах по отношению к частоте 400 *кгц* составляет около 4 *дб*. Это заметная избирательность и она «помогает» тракту промежуточной частоты в создании избирательности приемника по соседнему каналу. Это надо иметь в виду, потому что, если в приемнике длинноволнового диапазона будут применены контуры высокой добротности, они могут оказать существенное влияние на полосу пропускания приемника.

Вспомните, что мы выбирали допустимую погрешность сопряжения, исходя из вполне определенной полосы пропускания высокочастотных контуров, установленных перед смесителем. Так, мы приняли, что при добротности входного контура $Q=12$ полоса пропускания (см. табл. 1) на высокочастотном конце диапазона составляет 42 *кгц*, а на низкочастотном всего 14 *кгц*. Но если в приемнике применить более добротные контуры, то полоса пропускания сузится. В этом случае допустимая прежде погрешность сопряжения превратится в недопустимую, и чувствительность приемника в точках наибольшей погрешности сопряжения заметно уменьшится. Наконец, при очень высокой добротности контуров их полоса пропускания может стать даже уже полосы пропускания контуров промежуточной

частоты, т. е. меньше 10 *кгц*, и воспроизведение передачи будет искажено. Поэтому нельзя выбирать добротность входных высокочастотных контуров только из соображений получения как можно более высокой избирательности, а надо помнить и о необходимой полосе пропускания Максимальную эквивалентную добротность входного контура можно подсчитать по формуле

$$Q_{э.макс} = \frac{f_{мин}}{П},$$

где $f_{мин}$ — минимальная частота диапазона, *кгц*;
$П$ — необходимая из соображений допустимой погрешности сопряжения полоса пропускания, *кгц*.

Если окажется, что катушки индуктивности обладают большей добротностью, чем это допустимо, то добротность колебательного контура надо «испортить», шунтировав индуктивность постоянным резистором, причем, чем меньше сопротивление резистора, тем больше он шунтирует контур, тем меньше величина Q.

Но как быть, если высокочастотный входной контур не обеспечивает необходимую избирательность, а увеличить его добротность невозможно? Например, контур с эквивалентной добротностью 80 на коротковолновом диапазоне обеспечивает следующую избирательность по зеркальному каналу (при $f_{рез}=10$ *Мгц*, $f=f_{рез}+2f_{п}=10+$ $+2\cdot 0{,}465=10{,}93$ *Мгц*):

$$Se = Q_э\left(\frac{f}{f_{рез}} - \frac{f_{рез}}{f}\right) = 80\left(\frac{10{,}93}{10} - \frac{10}{10{,}93}\right) = 14{,}3$$

или в децибелах $Se_{(дб)}=20\lg 14{,}3=23$ *дб*.

Предположим, что мы конструируем приемник высшего класса, который в соответствии с принятым стандартом должен обладать избирательностью по зеркальному каналу на коротковолновом диапазоне не менее 26 *дб*. Изготовить катушку индуктивности с большей добротностью, например, вы не можете — ведь добротность и так велика. Как быть?

Может быть установить между антенной и входом смесителя два колебательных контура: входной между антенной и входом усилителя высокой частоты (придется ввести в схему приемника этот усилитель) и контур между усилителем высокой частоты и входом смесителя? Увеличится ли при этом избирательность приемника?

Да, увеличится (рис. 31). Чтобы определить результирующую характеристику приемника по высокой частоте (от антенного входа до входа смесителя), надо перемножить ординаты резонансных характеристик отдельных контуров — значения напряжений на обоих контурах на данной частоте. Как видно из рисунка, результирующая характеристика значительно уже характеристик отдельных контуров[1]. Этим и объясняется увеличение избирательности приемника при увеличении числа колебательных контуров. Например (рис. 31), если ослабление сигнала на частоте расстройки 16 *кгц* входным контуром $U_{рез}/U$ составляло $1/0{,}3=3{,}3$, то ослабление при такой же расстройке по результирующей характеристике равно уже $1/0{,}092=10{,}9$.

---

[1] На рис. 31 вертикальный масштаб результирующей характеристики уменьшен в 10 раз.

Таким образом, при одинаковой добротности обоих контуров избирательность всего высокочастотного тракта приемника

$$Se_{\text{общ}} = Se^{n},$$

где n — число высокочастотных контуров, включенных до входа смесителя.

Эту формулу подтверждает пример, показанный на рис. 31. ослабление, создаваемое входным контуром, $Se=3{,}3$, а суммарное ослабление, создаваемое высокочастотным трактом при той же расстройке 16 *кгц* и $n=2$ (два одинаковых контура), $Se_{\text{общ}}=Se^2=3{,}3^2=10{,}9$.

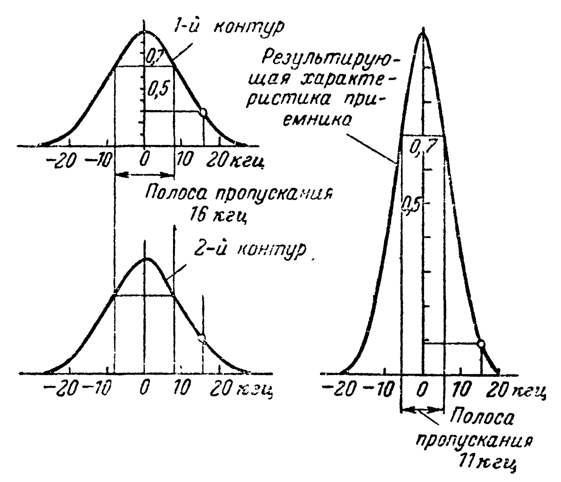


Рис. 31. Если два контура настроены на одну и ту же частоту, то общая избирательность в децибелах увеличивается в 2 раза (ординаты их резонансных характеристик перемножаются).

Замечу, что если избирательность выражена в децибелах, то ослабления, создаваемые отдельными контурами, складываются (вспомните, что для перемножения чисел логарифмы надо сложить). Поэтому для нашего расчета избирательности по зеркальному каналу, в котором избирательность $Se_{(\partial б)}=23$ *дб*, общая избирательность всего высокочастотного тракта, состоящего из двух контуров с одинаковой добротностью, $Se_{\text{общ}(\partial б)}=2Se_{(\partial б)}=2\cdot 23=46$ *дб*.

Но в результате увеличения общей избирательности сузится полоса пропускания высокочастотного тракта (это тоже видно из рис. 31) и надо проверить, не повлияет ли это на величину допустимой погрешности сопряжения. Подсчитать полосу пропускания для такого случая можно по формуле

$$П=\frac{0{,}64 f_{\text{мин}}}{Q},$$

Если же окажется, что полоса пропускания стала меньше допустимой с точки зрения выбранной погрешности сопряжения, то надо либо уменьшить добротность входных контуров до такого значения, при котором одновременно обеспечивается необходимая избирательность по зеркальному каналу и допустимая погрешность сопряжения, либо выбрать иной тип сопряжения с меньшей погрешностью.

ВХОД ПРИЕМНИКА

До сих пор мы рассматривали колебательный контур, так сказать, в общем виде, не приводя конкретных практических схем. И это не случайно, ибо колебательные контуры имеются и в схеме усилителя высокой частоты, и в схеме гетеродина и в схеме усилителя промежуточной частоты супергетеродинного приемника. Нужно было рассказать об основных параметрах колебательного контура и их выборе. Теперь перейдем к схемам входных устройств супергетеродинного приемника.

Входное устройство состоит из высокочастотного колебательного контура, включенного на входе приемника и настроенного на частоту принимаемого сигнала, и из цепи, связывающей этот контур с антенной. Назначение входного устройства — передать полезный сигнал от антенны к входу усилителя высокой частоты или смесителя. При этом входное устройство должно ослабить сигналы, мешающие приему, т. е. сигналы с частотой зеркального канала и сигналы на частоте, равной промежуточной

В радиовещательных приемниках длинных, средних и коротких волн применяют следующие схемы входных устройств: с емкостной связью контура с антенной, с индуктивной связью контура с антенной, двухконтурное входное устройство с индуктивной связью контура с антенной Наконец, в последнее время большое распространение получили входные устройства, объединенные с внутренней магнитной антенной.

Начнем с входных устройств всеволновых приемников. Какая из указанных схем лучше, наверно, спросите вы?

Так нельзя ставить вопрос. Все зависит от того, с какой антенной будет работать приемник и на каких частотах. Одной из основных характеристик входного устройства, помимо избирательности и полосы пропускания, является коэффициент передачи напряжения $K_{вх}$. Этот коэффициент представляет собой отношение

$$K_{вх} = \frac{U_{вх}}{e_A},$$

где $U_{вх}$ — напряжение, снимаемое с входной цепи; e_A — э. д. с в антенне.

Желательно, конечно, чтобы этот коэффициент был как можно больше по величине и чтобы он как можно меньше изменялся с частотой, чтобы чувствительность приемника была постоянной по диапазону.

Итак, какое же входное устройство выбрать для работы на длинных, средних и коротких волнах?

Входное устройство с емкостной связью контура с антенной (рис. 32) имеет весьма значительное возрастание коэффициента передачи с повышением частоты диапазона. Поэтому такую схему

входного устройства можно применять в тех случаях, когда контур перекрывает небольшой диапазон частот, или в приемниках, к которым не предъявляют требования равномерности чувствительности по диапазону. Емкость конденсатора связи $C_{св}$ определяют из условий допустимой расстройки входного контура емкостью антенны. Расстройка входного контура при подключении антенны происходит потому, что антенна, эквивалентная некоторой цепи с индуктивностью $L_А$, емкостью $C_А$ и сопротивлением $R_А$, при подключении к контуру изменяет общую емкость и индуктивность его и тем самым вызывает расстройку. Конечно, эту расстройку контура можно компенсировать изменением емкости контура Но так как к приемнику

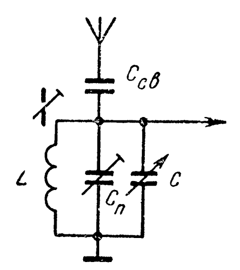


Рис. 32. Входное устройство с емкостной связью контура с антенной

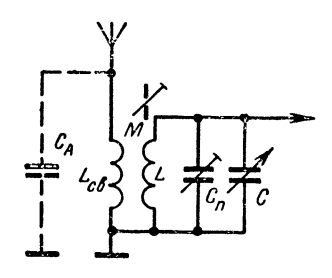


Рис. 33. Входное устройство с индуктивной связью контура с антенной.

могут подключаться различные антенны, то необходимо так сконструировать входное устройство, чтобы при любой антенне расстройка была небольшой и с ней можно было бы не считаться. Для этого емкость конденсатора $C_{св}$ выбирают небольшой. Правда, при этом сильно уменьшается коэффициент передачи $K_{вх}$, но с этим при использовании данной схемы приходится мириться.

Емкость этого конденсатора выбирается в пределах от 20 до 50 *пф*, причем, чем выше частота, тем меньше должна быть емкость. Можно считать, что на длинноволновом диапазоне его емкость должна составлять 30—50 *пф*, на средневолновом 20—30 *пф*, на коротковолновом 20 *пф* и меньше. В простых приемниках обычно применяют один и тот же конденсатор $C_{св}$ емкостью 30—35 *пф* на всех диапазонах.

Добротность контура при присоединении антенны также несколько уменьшается и тем значительнее, чем выше частота. Но при правильном выборе емкости конденсатора $C_{св}$ это уменьшение невелико. Например, в средневолновом диапазоне при собственной добротности контура $Q=40$ эквивалентная добротность $Q_э$ на частоте 520 *кгц* равна 40, а на частоте 1 600 *кгц* добротность $Q_э=37$. В коротковолновом диапазоне при $Q=60$ на частоте 6 *Мгц* эквивалентная добротность контура после присоединения антенны уменьшается всего до $Q_э=58$.

Перейдем к схеме входного устройства с индуктивной связью контура с антенной (рис. 33). Большое достоинство такого входного устройства в том, что оно обеспечивает почти постоянный коэффи

циент передачи, который лишь незначительно уменьшается с повышением частоты. Для получения равномерного коэффициента передачи индуктивность катушки связи $L_{св}$ нужно выбрать такой величины, чтобы резонансная частота антенного контура $L_{св}C_{А}$ была ниже минимальной частоты диапазона и составляла примерно $(0{,}6 \div 0{,}8)$ $f_{мин}$. Типовые значения $L_{св}$: 10 000—15 000 *мкгн* в длинноволновом, 1 000—1 300 *мкгн* и в средневолновом и 2—25 *мкгн* в коротковолновом диапазоне

В этой схеме входного устройства антенна также уменьшает добротность входного контура и приводит к его расстройке. Для уменьшения влияния антенны связь ее с входным контуром делают слабой. Связь определяется коэффициентом связи $K_{св}$ между катушками $L_{св}$ и L. Этот коэффициент выбирают с учетом допустимого ухудшения избирательности входного контура (из-за уменьшения добротности контура в результате подключения антенны), допустимой расстройки контура, а также с учетом возможности практического достижения выбранного коэффициента связи. Типовые значения коэффициента связи $K_{св}$ для различных диапазонов следующие: ДВ — 0,45, СВ — 0,25 и КВ — 0,03.

В хороших радиовещательных приемниках на длинноволновом и средневолновом диапазонах иногда применяют двухконтурное входное устройство (рис. 34). Это делают в тех случаях, когда хотят получить полосу пропускания входного устройства почти постоянной по диапазону, а также хорошую избирательность по зеркальному каналу.

Для получения постоянной полосы пропускания необходимо, чтобы коэффициент связи между катушками уменьшался с увеличением частоты диапазона по определенному закону. Получить такую зависимость коэффициента связи от частоты можно в том случае, если применить в полосовом перестраиваемом фильтре, каким является двухконтурное устройство, комбинированную связь. Так, в схеме, показанной на рис 33, применена двойная емкостная связь через емкости $C_{св1}$ и $C_{св2}$ (контур связан с антенной индуктивно). С повышением частоты эквивалентная емкость контура уменьшается, что приводит к возрастанию связи через емкость $C_{св2}$ и уменьшению связи через емкость $C_{св1}$. Соответствующим выбором емкостей $C_{св1}$ и $C_{св2}$ можно получить такой коэффициент связи, который будет уменьшаться с увеличением частоты диапазона по необходимому закону.

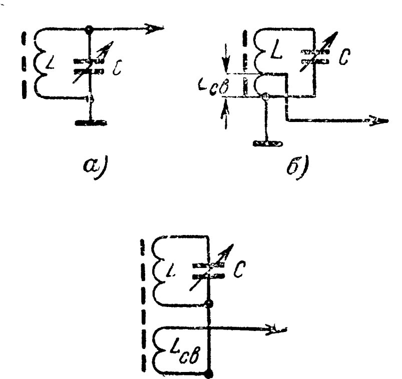
Можно считать, что двухконтурное входное устройство обеспечивает такую же избирательность по заркальному каналу, как обычное одноконтурное входное устройство плюс контур усилителя высокой частоты.

Как видно из схемы на рис. 34, для двухконтурного входного устройства требуется два конденсатора переменной емкости, объединенных на одной оси. Если учесть, что на этой же оси должен быть еще конденсатор, работающий в контуре гетеродина, то, следовательно, в супергетеродинном приемнике без усилителя высокой частоты, но с двухконтурным входным устройством приходится применять строенный блок конденсаторов настройки (обычно в приемнике без усилителя высокой частоты можно обойтись сдвоенным блоком конденсаторов настройки).

В последние годы как в ламповых, так и особенно в транзисторных приемниках стали широко применять магнитные антенны (часто их называют ферритовыми). В транзисторных приемниках

их устанавливают, главным образом, из-за малых размеров. Кроме того (и во многих случаях это самое важное), магнитные антенны обладают хорошо выраженной направленностью: в осевом направлении они чувствительны к электромагнитным колебаниям значительно в большей степени, чем в направлении, перпендикулярном к оси. Поэтому, поворачивая антенну (или приемник вместе с антенной), можно «отстроиться» от мешающей радиостанции или источника помехи.

Магнитная антенна представляет собой ферритовый стержень диаметром 6—8 *мм* и длиной 100—150 *мм*. В диапазоне длинных и средних волн магнитная проницаемость стержня антенны выбирается 400—600, а в диапазоне коротких волн 100—200. Катушки входного устройства размещают на стержне антенны.



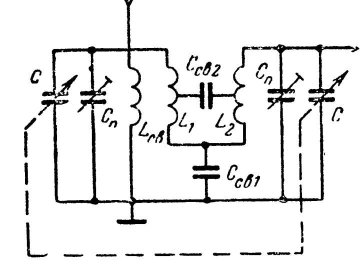


Рис. 34. Двухконтурное входное устройство.

Рис. 35. Схемы включения магнитной антенны.

Наиболее простая схема включения магнитной антенны показана на рис. 35, *а*. Однако более эффективно работает схема с неполным включением контура (рис. 35, *б*). Отвод делают от $^1/_{10}$—$^1/_{50}$ части витков контурной катушки (точное число витков подбирают при налаживании). Еще лучше схема с индуктивной связью (рис. 35, *в*). Она позволяет, изменяя взаимоиндуктивность между катушкой связи и контуром, опытным путем добиться наибольшего эффекта. Для этого катушку связи $L_{св}$ наматывают на бумажном кольце, которое может передвигаться по стержню магнитной антенны. Число витков этой катушки в 10—50 раз меньше числа витков контурной катушки L. Коэффициент передачи такого входного устройства зависит от добротности контура $LC_к$, числа витков катушки $L_{св}$ и положения ее на стержне антенны по отношению к катушке L.

Кстати, в ламповых приемниках магнитная антенна обычно не является единственной, т. е приемник может работать как от обычной внешней антенны, так и от магнитной, которая расположена в специальном приспособлении, позволяющем поворачивать ее. В этом случае в приемнике имеется переключатель антенн, а вход приемника выполнен по одной из схем, показанных на рис. 36.

В заключение несколько слов о входных устройствах транзисторных приемников. В этих приемниках можно использовать такие же входные устройства, как и в ламповых. Отличие заключается в том, что входное сопротивление транзисторов невелико и они сильно нагружают (шунтируют) контур входного устройства. Поэтому для согласования контура с входом транзистора применяют неполное включение контура, т. е. вход транзистора подключают лишь к части витков катушки индуктивности контура, или же применяют индуктивную связь входа транзистора с контуром. Кроме того, так как коэффициент усиления транзистора заметно уменьшается при повышении частоты сигнала, надо конструировать входное устройство таким образом, чтобы его коэффициент передачи возрастал при повышении частоты в пределах диапазона.

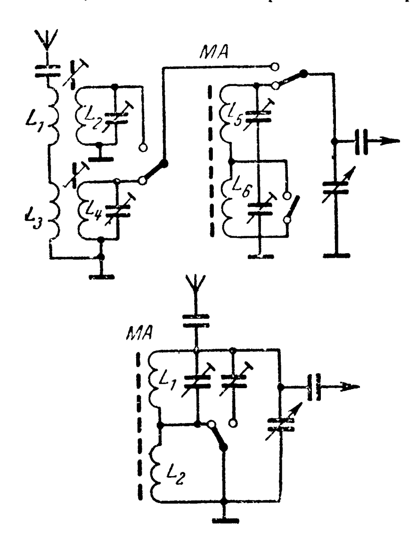


Рис. 36. Схемы входа приемника с магнитной и обычной антеннами.

Наиболее часто применяют автотрансформаторную схему подключения базы транзистора к контуру (рис. 37, *а*) и индуктивную схему связи базовой цепи с контуром (рис. 37, *б*). При налаживании автотрансформаторной схемы надо обращать особое внимание на подбор отношения числа витков катушки до отвода к полному числу витков. Если точку отвода выбрать из условия получения максимальной передачи мощности из контура в цепь базы транзистора, то добротность контура и, следовательно, его избирательные свойства ухудшаются весьма заметно — примерно в 2 раза. Поэтому если избирательностью нельзя поступиться, то

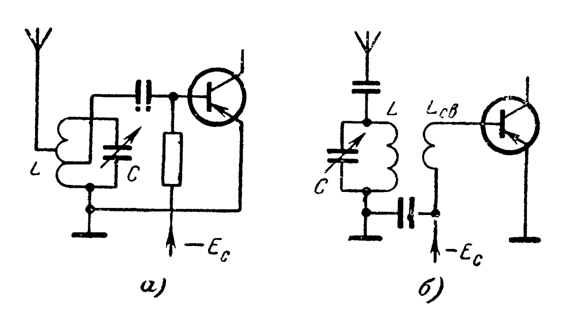


Рис. 37. Входные устройства транзисторных приемников.

приходится брать меньшее число витков до отвода и тем самым уменьшать коэффициент передачи.

В схеме с индуктивной связью коэффициент связи между катушками L и $L_{\text{св}}$ должен быть близким к единице, так как при малой связи коэффициент передачи и чувствительность приемника будут низкими. Получить же большой коэффициент связи можно только в том случае, если катушки будут намотаны на каркасе с ферритовым сердечником. Кроме того, при налаживании входного устройства с индуктивной связью надо иметь в виду, что цепь, состоящая из катушки $L_{\text{св}}$, емкости монтажа и входной цепи транзистора, представляет собой колебательный контур, резонансная частота которого не должна находиться в пределах принимаемого диапазона, иначе это приведет к неравномерности коэффициента передачи по диапазону. Если же резонансная частота этого контура случайно окажется на частоте мощной радиостанции (даже за пределами принимаемого диапазона), то эта радиостанция будет создавать очень сильную помеху.

УСИЛИТЕЛЬ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Как вы уже знаете, избирательность супергетеродинного приемника по зеркальному каналу достигается применением высокочастотных колебательных контуров, включенных перед смесителем. Таким контуром является, например, входной, включенный на входе приемника. Однако один входной контур может обеспечить избирательность по этому каналу не более 10—20 дб (в зависимости от добротности). Это небольшая избирательность, и чтобы ее увеличить, в приемники часто включают резонансный усилитель высокой частоты: тогда между антенной и входом смесителя оказываются включенными уже два колебательных контура.

Но необходимость введения в схему приемника усилителя высокой частоты вызвана не только желанием повысить избирательность по зеркальному каналу.

Если чувствительность приемника будет определяться только усилением по промежуточной частоте, то усилитель промежуточной частоты высокочувствительных приемников пришлось бы делать с очень большим усилением. А это привело бы к неустойчивой его работе: усилитель с большим числом каскадов легко самовозбуждается. Поэтому с точки зрения устойчивости работы желательно разделить усиление приемника между усилителем промежуточной частоты и усилителем высокой (принимаемой) частоты.

Но дело не только в этом. Преобразователь частоты обладает повышенным уровнем внутренних шумов по сравнению с усилительными каскадами, так как в преобразователе в создании шумов участвуют электронные потоки смесителя и гетеродина. При приеме слабых сигналов уровень внутренних шумов может оказаться соизмеримым с уровнем сигнала принимаемой радиостанции, и прием будет очень затруднен, а прием сигналов, уровень которых меньше уровня шумов — вообще невозможен. И тут не поможет усилитель промежуточной частоты — ведь он одновременно будет усиливать и полезный сигнал и шумы преобразователя. Поэтому, как бы мы не увеличивали усиление по промежуточной частоте, чувствительность приемника практически не увеличится, хотя при отсутствии шумов он становился бы более чувствительным.

Чтобы увеличить фактическую (реальную) чувствительность приемника, определяемую с учетом влияния шумов, надо увеличить уровень принимаемого сигнала по сравнению с уровнем шумов преобразователя. А это может сделать только усилитель высокой частоты, включенный до преобразователя. Конечно, усилитель высокой частоты тоже «шумит», но уровень его шумов значительно меньше, чем у преобразователя.

Вот те соображения, которые говорят о необходимости применения в супергетеродинном приемнике усилителя высокой частоты, хотя на первый взгляд он и не кажется обязательным.

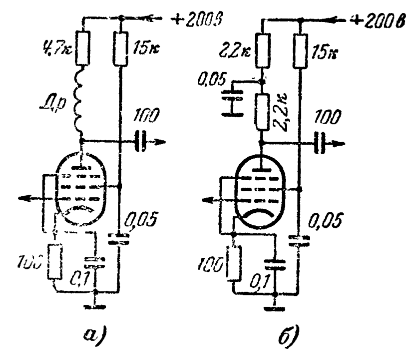


Рис. 38. Схемы апериодического усилителя высокой частоты на пентоде.

В радиовещательных приемниках, работающих на длинноволновом, средневолновом и коротковолновом диапазонах, наиболее часто применяют следующие схемы каскадов усилителей высокой частоты: апериодическую (т. е. без резонансного контура), схему усилителя с непосредственным включением контура, с автотрансформаторным включением контура и схему с трансформаторным включением контура.

Апериодический каскад (рис. 38) не обладает резонансными свойствами и не имеет поэтому избирательности; он включается в схему приемника только для усиления принимаемого сигнала и улучшения соотношения сигнал/шум. Коэффициент усиления апериодического каскада определяется по формуле

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = SR_а.$$

Коэффициент усиления тем больше, чем больше крутизна характеристики лампы S и сопротивление анодной нагрузки $R_а$. Поэтому в таком усилителе используются пентоды с высокой крутизной характеристики, например 6Ж4, 6К4П, 6Ж5П. Апериодический каскад, работающий на этих лампах, имеет коэффициент усиления порядка 15—25 на длинноволновом и средневолновом диапазонах и около 5—8 — на коротковолновом, причем каскад, работающий по схеме, показанной на рис. 38, *а*, дает более равномерное усиление по диапазону, чем каскад без высокочастотного дросселя (рис. 38, *б*). Дроссель *Др* содержит 25 витков провода ПЭЛ 0,15, намотка — однослойная на каркасе диаметром 12 и высотой 25 *мм*.

Апериодический каскад может работать и на транзисторе (рис. 39, *а*). Напряжение высокой частоты в части контурной катушки L_1, намотанной на стержне ферритовой антенны, подводится к базе транзистора (можно использовать, например, высокочастотные транзисторы типа П402, П403, П422, П423, ГТ309, ГТ310, ГТ322 и др.). Коэффициент усиления такого каскада в диапазоне длинных и средних волн составляет 15—30.

Схема дроссельного каскада транзисторного апериодического усилителя показана на рис. 39, *б*. Дроссель намотан на тороидальном сердечнике из феррита с магнитной проницаемостью порядка 1 000. Диаметр сердечника 7—10 *мм*, индуктивность дросселя 2—5 *мгн*.

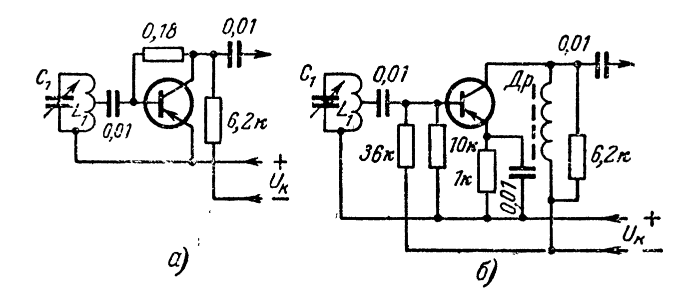


Рис. 39. Схемы апериодического транзисторного усилителя высокой частоты.

Ненастраиваемый апериодический усилитель высокой частоты обычно применяют только в простых приемниках или в тех случаях, когда не хотят увеличивать число секций блока переменных конденсаторов настройки. Однако в большинстве случаев при введении в схему приемника усилителя высокой частоты имеют в виду не только усиление принимаемого сигнала, но и повышение избирательности приемника. Для этого в каскад усилителя включают настраиваемый колебательный контур. Одна из возможных схем такого усилителя показана на рис. 40. Это так называемая схема усилителя высокой частоты с непосредственным включением контура в анодную цепь лампы—наиболее простая схема резонансного усилителя. Такой усилитель дает наибольшее усиление. Коэффициент усиления каскада усилителя выражается формулой

$$K = R_{\text{рез}}\,S = 2\pi f L Q_{э} S,$$

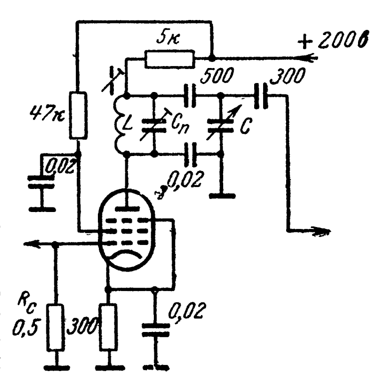


Рис. 40. Схема усилителя высокой частоты с непосредственным включением контура в анодную цепь лампы.

где f — частота, на которой определяется коэффициент усиления (обычно величину K определяют на крайних частотах диапазона), *Мгц*; L — индуктивность контура, *мкгн*; $Q_{э}$ — эквивалентная добротность контура с учетом шунтирующего действия лампы и резистора R_{c}; обычно $Q_{э}$ равна $(0{,}7 \div 0{,}8)\,Q$; S — крутизна характеристики лампы *а/в*.

Для нормальной работы усилителя коэффициент его усиления не должен превышать определенного значения (коэффициента устойчивого усиления $K_{уст}$); в противном случае усилитель начнет самовозбуждаться. Допустимое значение этого коэффициента определяется по формуле

$$K_{уст} = (0,45 \div 0,63) \sqrt{\frac{S}{2\pi f C_{с.а}} 10^3},$$

где f — максимальная частота диапазона, *Мгц*; $C_{с.а}$ — емкость между сеткой и анодом лампы, *пф*, S — *ма/в*.

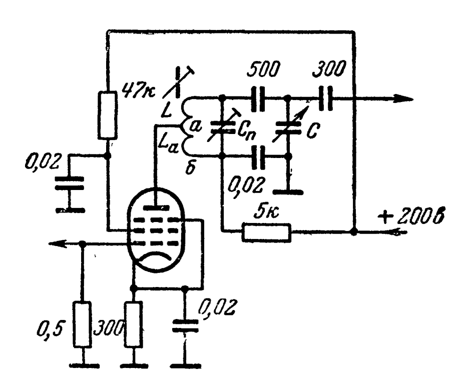


Рис. 41. Схема усилителя высокой частоты с автотрансформаторной связью.

Если коэффициент усиления, рассчитанный по формуле $K=2\pi f LQS$, получается больше величины $K_{уст}$, то для обеспечения устойчивости усилителя надо либо уменьшить усиление каскада, изменив режимы лампы (например, уменьшив напряжение на экранирующей сетке), либо применить другую схему усилителя высокой частоты, например схему с автотрансформаторной связью (рис. 41), которая более устойчива в работе. В этой схеме в анодную цепь лампы включается не вся контурная катушка, а лишь часть ее витков (0,5—0,7 общего числа витков), благодаря чему можно подобрать наивыгоднейшую связь контура с лампой, при которой усилитель, давая достаточно большее усиление, обладает высокой избирательностью и устойчив в работе. Коэффициент усиления этого каскада выражается той же формулой, что и для каскада с непосредственным включением контура, но с добавлением коэффициента $P=L_a/L$, характеризующего степень связи контура с лампой ($P \leqslant 1$):

$$K = R_{рез} SP = 2\pi f L Q_э SP.$$

Практически коэффициент связи показывает отношение числа витков части катушки L_a, заключенной между точками *а* и *б*, к числу витков всей катушки L.

Замечу, что индуктивность катушки контура и емкость подстроечного конденсатора в схемах на рис. 40 и 41 подсчитывают по тем же формулам, по которым рассчитывают эти элементы входного контура. Это же относится к расчету избирательности каскада.

Говоря о входных устройствах, мы обращали большое внимание на постоянство коэффициента передачи. В самом деле, от этого коэффициента во многом зависит постоянство чувствительности приемника по диапазону. В усилителях высокой частоты в качестве параметра, аналогичного коэффициенту передачи входной цепи, выступает коэффициент усиления — желательно, чтобы он изменялся по диапазону незначительно. Но, как следует из приведенных выше формул, коэффициент усиления возрастает с увеличением частоты из-за увеличения резонансного сопротивления контура. При переходе на более высокочастотный диапазон включается другой контур с меньшим резонансным сопротивлением

$$\left(R_{рез}=\frac{Q}{2\pi fC}\right),$$

что приводит к уменьшению коэффициента усиления каскада и соответствующему уменьшению чувствительности приемника. Особенно резкое изменение коэффициента усиления происходит в схеме с непосредственным включением контура. Схема же с автотрансформаторным включением контура позволяет выровнять коэффициенты усиления каскада в разных диапазонах путем уменьшения связи контура с лампой при работе на низкочастотном диапазоне.

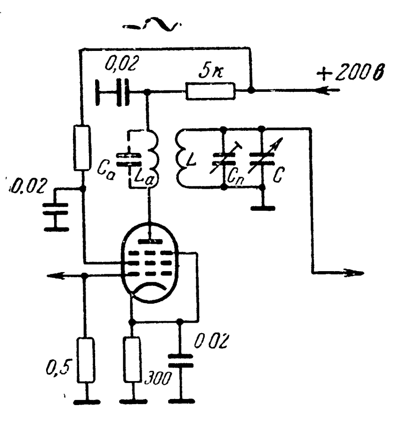


Рис. 42. Схема усилителя высокой частоты с трансформаторным включением контура.

Еще большими возможностями в этом отношении обладает схема с трансформаторным включением контура (рис. 42). Эта схема дает также более равномерное усиление по диапазону. Контур $L_а C_а$ в анодной цепи лампы должен быть настроен на частоту, в 2—3 раза меньшую, чем минимальная рабочая частота данного диапазона. Роль емкости анодного контура обычно выполняет выходная емкость лампы и собственная емкость контурной катушки $L_а$, но иногда на длинноволновом диапазоне параллельно этой катушке подключают еще конденсатор емкостью 10—30 *пф*.

Коэффициент усиления каскада с трансформаторным включением контура выражается такой же формулой, как и коэффициент усиления каскада, работающего по схеме с автотрансформаторным включением контура, но в этой схеме коэффициент связи $P=M/L$, где M — взаимоиндукция между катушками $L_а$ и L Связь между катушками обычно выбирают такой, чтобы добротность контура из-за влияния лампы уменьшалась не более чем на 20%. На практике наивыгоднейшую связь между катушками $L_а$ и L подбирают практически в процессе налаживания.

Коэффициент устойчивого усиления можо вычислить по формуле, приведенной для схемы с непосредственным включением контура. Расчет же индуктивностей катушек L_a и L, а также элементов настраиваемого колебательного контура производят по обычным формулам. Это же относится и к расчету избирательности (см. стр. 43—56).

Схемы транзисторных усилителей высокой частоты в принципе не отличаются от ламповых. Но так как входное и выходное сопротивления транзисторов относительно невелики, то прямое подклю-

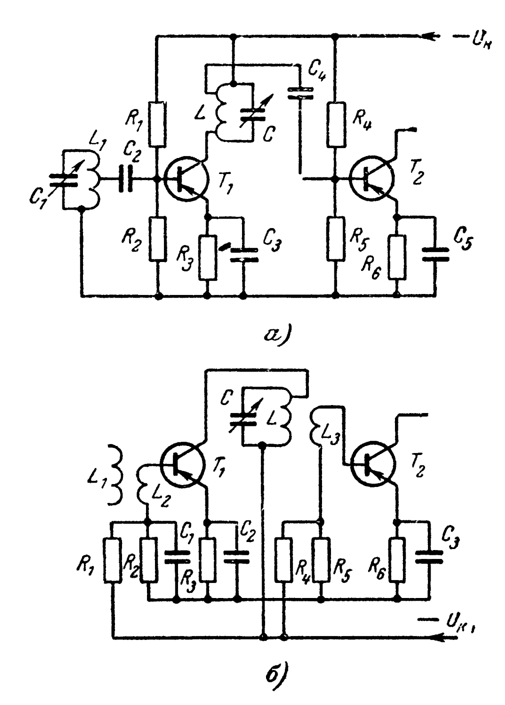


Рис. 43. Транзисторные усилители высокой частоты.

чение транзистора к резонансному контуру приводит к очень сильному шунтированию контура и ухудшению избирательных свойств усилителя. Чтобы избежать этого, применяют неполную связь контура с транзистором. Например, на рис. 43, *а* показана схема усилителя высокой частоты с двойным автотрансформаторным включением контура, т. е. выход одного транзистора и вход второго подключены к различным отводам катушки контура. На рис. 43, *б* показана схема усилителя с трансформаторной связью, причем коллектор транзистора подключен к части витков контура. Благодаря индуктивной связи второго транзистора с контуром резисторы R_4 и R_5 делителя в цепи базы не шунтируют колебательный контур.

УСИЛИТЕЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Это «самый главный усилитель» супергетеродина — ведь он обеспечивает нужную избирательность по соседнему каналу и дает основное усиление сигнала принимаемой радиостанции. Собственно говоря, усилитель промежуточной частоты (УПЧ) принципиально не отличается от усилителя высокой частоты — это тоже усилитель радиочастоты (ведь частота 465 кгц «расположена» между длинноволновым и средневолновым диапазонами) и он может быть выполнен по тем же схемам. Но тот факт, что усилитель промежуточной частоты работает на фиксированной частоте, т. е. настройка его контуров неизменна, позволяет применить в нем полосовые фильтры и тем самым обеспечить очень высокую избирательность по соседнему каналу при необходимой полосе пропускания.

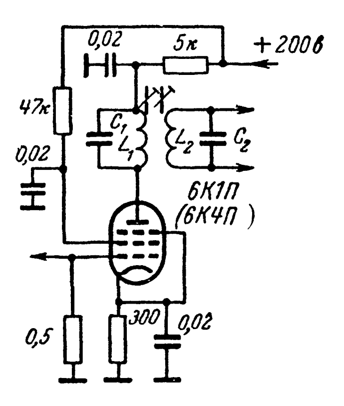


Рис. 44. Схема усилителя промежуточной частоты с фильтром, состоящим из двух индуктивно-связанных колебательных контуров.

Как вы помните, полосовые фильтры обладают П-образной резонансной характеристикой. Именно качеством и настройкой этих элементов усилителя определяется избирательность приемника по соседнему каналу. Поэтому рассмотрим эти вопросы более подробно.

Полосовой фильтр, т. е. система контуров, пропускающая сигналы только в определенной полосе частот, в простейшем случае состоит из двух индуктивно-связанных колебательных контуров L_1C_1 и L_2C_2 (рис. 44). Форма резонансной характеристики такого фильтра, как уже говорилось, зависит от добротности каждого из контуров и взаимоиндукции между катушками. Чем больше взаимоиндукция, т. е. чем больше связь между контурами, тем шире полоса пропускания. Если связь превысит критическую, форма частотной характеристики фильтра станет двугорбой.

Частотные характеристики полосового фильтра при различных связях показаны на рис. 45. Вглядитесь внимательнее: на рисунке изображены только правые половины частотных характеристик — ведь частотная характеристика обычно симметрична относительно номинальной промежуточной частоты $f_п$. Правда, на осях этого графика отложены необычные величины. На вертикальной оси отложено ослабление, создаваемое фильтром на данной частоте по сравнению со случаем прохождения через фильтр сигнала на частоте $f_п$. Это ослабление выражено двояко: в относительных единицах — на правой стороне графика, и в децибелах — на левой стороне графика. По горизонтальной оси отложен «частотный параметр», но не просто частота, а так называемая обобщенная расстройка

$$X = \frac{2\Delta f}{f_п} Q,$$

которая, как это видно из формулы, связывает обычную расстройку Δf, т. е. отклонение фактической промежуточной частоты f от номинальной промежуточной частоты $f_п$, с добротностью контуров фильтра Q. Но для начала вы относитесь к графикам на рис. 45 проще: считайте, что по вертикальной оси отложено ослабление сигнала при отклонении его частоты от значения номинальной промежуточной частоты $f_п$, а по горизонтальной оси — величина этого отклонения.

Давайте разберемся в кривых этого графика. Величина связи

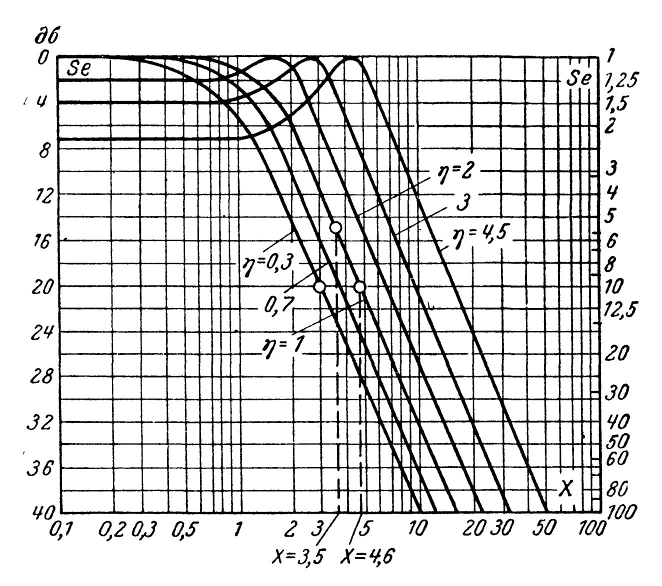


Рис. 45. Резонансные характеристики двухконтурного полосового фильтра при различных связях между контурами.

между контурами фильтра на графике выражена параметром $\eta = K_{св}Q$, где $K_{св}$ — коэффициент связи контуров. При $\eta = 1$ связь критическая. При такой связи частотная характеристика еще имеет одновершинную форму, но при более сильной связи появляются уже две вершины. Таким образом, при $\eta \leqslant 1$ резонансные характеристики фильтра имеют одну, а при $\eta > 1$ — две вершины.

Какая же форма лучше — одновершинная или двухвершинная? Это зависит от необходимой полосы пропускания. Если она не превышает 6—10 *кгц*, то обычно выбирают связь, равную критической, или несколько меньше критической, и резонансная характеристика фильтра имеет один максимум. Для более широкой полосы пропускания приходится применять связь выше критической, порядка 1,4—1,6. Как видно из графика, резонансная характеристика при такой связи имеет два небольших горба с незначительной впадиной между ними. По мере увеличения связи полоса пропускания расширяется, горбы отодвигаются один от другого, а впадина между ними углубляется.

Теперь посмотрим, как, пользуясь графиком на рис. 45, определить добротность контуров фильтра промежуточной частоты и связь между контурами, необходимые для получения заданной избирательности приемника по соседнему каналу при определенной полосе пропускания. Предположим, что избирательность приемника по соседнему каналу должна быть 60 *дб*. Такой приемник обычно имеет двухкаскадный усилитель промежуточной частоты, поэтому избирательность в 60 *дб* должна обеспечиваться тремя фильтрами промежуточной частоты: одним на выходе преобразователя и двумя в каскадах усилителя. Будем считать, что все фильтры равноценные, поэтому каждый фильтр должен обеспечить ослабление

$$Se = \frac{Se_{\text{общ}}}{n} = \frac{60}{3} = 20 \text{ дб},$$

где n — количество фильтров промежуточной частоты ($n=3$).

Для начала примем связь между катушками фильтра равной критической, т. е. $\eta=1$. Найдем на рис. 45 кривую, соответствующую критической связи, и отыщем на этой кривой точку, соответствующую необходимому ослаблению $Se=20$ *дб*. Из этой точки опустим на горизонтальную ось перпендикуляр и определим величину обобщенной расстройки $X=4{,}6$. Теперь можно определить необходимую величину добротности контуров фильтра

$$Q = \frac{Xf_n}{2F_{\text{в}}} = \frac{4{,}6\cdot 465}{2\cdot 5} = 214,$$

где $F_{\text{в}}$ — верхняя граничная частота полосы пропускания, которую для нашего приемника примем равной 5 *кгц*.

Итак, расчет показывает, что для получения необходимой избирательности по соседнему каналу при двухкаскадном усилителе промежуточной частоты и высшей частоте модуляции 5 *кгц* контуры фильтра при критической связи должны обладать добротностью порядка 214. Можно ли в действительности получить контуры с такой добротностью?

Контуры с катушками, намотанными одножильным проводом на картонных каркасах без высокочастотных сердечников, имеют добротность $Q=20\div30$. Контуры с катушками, намотанными многожильным высокочастотным проводом (литцендратом) на полистироловых или пластмассовых каркасах с магнитоэлектрическими сердечниками, имеют добротность $Q=30\div80$. Контуры, имеющие катушки с замкнутой магнитной системой из магнитодиэлектрика, т е. намотанные одножильным или многожильным проводом и заключенные в броневые сердечники, имеют добротность $Q=80\div220$. Таким образом, придется применить очень хорошие контуры с броневыми сердечниками.

А как быть, если нет таких контуров? Скажем, вы рассчитываете построить приемник, имея фильтры промежуточной частоты с добротностью порядка 140. Тут могут быть два решения.

Можно увеличить количество каскадов усилителя промежуточной частоты, а следовательно, и увеличить число фильтров промежуточной частоты. Тогда ослабление, приходящееся на долю каждого фильтра, уменьшится. Например, в нашем случае при $n=4$

необходимое ослабление на один фильтр будет равно $Se=60:4=15$ *дб* и добротность контуров фильтра может быть уменьшена до

$$Q=\frac{3,5\cdot465}{2,5}=163 \text{ при } X=3,5 \text{(см. рис. 45).}$$

Но все же это большая добротность, поэтому придется сделать четырехкаскадный усилитель промежуточной частоты. Однако нельзя беспредельно увеличивать число каскадов промежуточной частоты; даже три каскада — это уже много, усилитель может работать неустойчиво или самовозбуждаться; четыре каскада вообще применяют очень редко. Поэтому попытаемся найти другой способ получения заданной избирательности при необходимой полосе пропускания: изменим связь между катушками фильтра, т. е. будем вести расчет по другой кривой η. Чтобы не гадать, какую кривую выбрать, поступим следующим образом. Определим допустимую при наших контурах с добротностью 140 величину обобщенной расстройки:

$$X_д=Q\frac{2F_в}{f_n}=140\frac{2\cdot5}{465}=3.$$

Отложим эту величину обобщенной расстройки на горизонтальной оси графика рис. 45 и проведем из этой точки вертикальную прямую до пересечения с горизонтальной прямой, соответствующей заданному ослаблению на один фильтр 20 *дб*. Точка пересечения этих прямых пришлась на кривую, соответствующую $\eta=0,3$. Но следует иметь в виду, что при такой слабой связи ($\eta=0,3$) коэффициент усиления каскада будет малым и, возможно, окажется, что для получения нужной чувствительности приемника не хватит усиления двухкаскадного усилителя промежуточной частоты. Поэтому, если не увеличивать число каскадов усилителя, надо применить в фильтрах контуры с большей добротностью или снизить требования к избирательности по соседнему каналу.

Хорошие супергетеродинные приемники имеют переменную полосу пропускания по промежуточной частоте Дело в том, что в вечерние и ночные часы, когда число радиостанций возрастает и прохождение радиоволн улучшается, полосу пропускания желательно сузить, чтобы повысить избирательность по соседнему каналу и избавиться от мешающих сигналов соседних станций: при узкой полосе меньше мешают соседние радиостанции, которые при широкой полосе хотя и ослаблены, но все же создают значительные (по сравнению со слабым сигналом полезной радиостанции) помехи и заглушают прием. Кроме того, узкая полоса пропускания приемника желательна и в случае приема далекой или слабой станции для уменьшения помех от соседних станций. Но в дневные часы или при приеме мощной и близкой радиостанции полосу пропускания желательно расширить даже более 10 *кгц*, чтобы улучшить качество приема (см. стр. 4). Вот из этих соображений и применяют фильтры промежуточной частоты с регулируемой полосой пропускания.

Регулировку полосы осуществляют путем изменения связи между катушками фильтра. Добротность катушек таких фильтров выбирают по узкой полосе пропускания. Для этого фильтры рассчитывают на наименьшую верхнюю частоту полосы пропускания $F_{в.мин}=3\div4$ *кгц*, выбирая одновершинную кривую с возможно меньшим параметром связи η, но с учетом, что при такой связи усилитель промежуточной частоты обеспечит необходимое усиление.

По мере увеличения связи полоса пропускания фильтра расширяется, а после $\eta=1$ резонансная характеристика становится двухвершинной. Однако при увеличении связи между катушками увеличивается глубина впадины между горбами, что означает неравномерность усиления в пределах полосы пропускания. Поэтому глубина впадины не должна превышать значения, при котором неравномерность усиления в пределах полосы пропускания превышает 2 *дб*.

А как же изменять связь между катушками на практике? Самый простой и лучший способ — изменять расстояние между катушками. Раздвинуты катушки — связь мала, сдвинуты — связь сделалась больше, причем достоинство этого способа в том, что связь можно изменять плавно, от минимального до максимального значения. Однако этот «самый простой» способ на деле далеко не прост и не всегда можно осуществить такое взаимное перемещение катушек фильтра, особенно в малогабаритных приемниках. Поэтому часто применяют ступенчатую регулировку связи путем включения витков дополнительной катушки L_3 (рис. 46), которая состоит из нескольких витков и наматывается рядом с катушкой L_1. При установке переключателя в положение *1* катушка L_3 отключена, и полоса пропускания определяется только связью между катушками L_1 и L_2. При установке переключателя в положение *2* катушка L_3 включается последовательно с катушкой L_2, и полоса пропускания расширяется благодаря увеличению связи между контурами фильтра. Включение катушки L_3 во второй контур практически не влияет на его настройку, так как индуктивность L_3 много меньше L_2. Наконец, при установке переключателя в положение *3* полоса пропускания еще больше расширяется за счет дальнейшего увеличения связи.

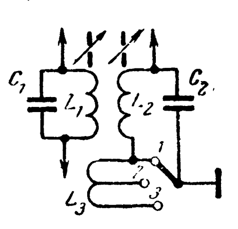


Рис. 46. Схема регулировки полосы пропускания фильтра промежуточной частоты путем включения дополнительной катушки.

Несколько слов о выборе емкостей конденсаторов C_1 и C_2 в контурах фильтров промежуточной частоты (см. рис. 44). Чем меньше емкости этих конденсаторов, тем больше резонансное сопротивление контура $R_{рез}=L/CR$, тем больше усиление каскада. Однако выбирать емкость этих конденсаторов очень малой нельзя, так как это может привести к неустойчивой работе усилителя (ввиду очень большого усиления), причем усилитель может и не самовозбуждаться, но форма его резонансной кривой будет заметно изменяться при колебаниях напряжения питания, смене ламп или транзисторов и т. п. Поэтому при выборе емкостей контуров полосовых фильтров приходится находить компромиссное решение, при котором усилитель сохраняет требуемое постоянство частотной характеристики и одновременно дает достаточное усиление В усилителях промежуточной частоты радиовещательных приемников с полосой пропускания 8—10 *кгц* емкость этих конденсаторов выбирают в пределах 150—200 *пф*. Кстати, с точки зрения получения максимального устойчивого усиления емкость этих конденсаторов должна быть не менее величины

$$C \geqslant 2Q\sqrt{\frac{SC_{пр}\cdot 10^{-18}}{2\pi f_п}}\ [пф],$$

где $C_{пр}$ — емкость участка сетка — анод лампы, *пф*; $f_п$ — в *кгц*; S — в *ма/в*.

Наконец, остается подсчитать коэффициент усиления каскада

$$K = \frac{\eta}{\eta^2 + 1} SR_{рез},$$

где $R_{рез} = Q\sqrt{\frac{L}{C}}$ — резонансное сопротивление контура, *ом*; S — в *а/в*; L — в *мкгн*; C — емкость конденсаторов C_1 и C_2 (см. рис. 44), *мкф*.

Как видите, в выражение коэффициента усиления входит параметр связи η, причем чем меньше η, тем меньше усиление.

Общий коэффициент усиления усилителя промежуточной частоты

$$K_{общ} = K^n,$$

где n — число каскадов; K — коэффициент усиления одного каскада.

В табл. 7 приведены данные катушек индуктивности полосовых фильтров промежуточной частоты.

В большинстве случаев фильтры промежуточной частоты выполняются двухконтурными. Но существуют и другие фильтры с более совершенной П-образной характеристикой. В последнее время широкое распространение, особенно в транзисторных приемниках, получили так называемые фильтры сосредоточенной селекции, которые обладают столь высокой избирательностью по соседнему каналу, что если один такой фильтр включить на входе усилителя (на выходе преобразователя), то усилитель промежуточной частоты может выполнять только функции усиления, т. е. быть апериодическим или состоять из нескольких каскадов с одиночными контурами, настроенными на промежуточную частоту (такие каскады похожи на каскады усиления высокой частоты с непосредственным или автотрансформаторным включением контура). Хочу подчеркнуть, что это очень хорошо, когда на входе усилителя промежуточной частоты установлен фильтр с такой высокой избирательностью. Ведь в обычном усилителе промежуточной частоты частотоизбирательные элементы или, проще говоря, фильтры промежуточной частоты распределены по каскадам усилителя равномерно. Поэтому первый каскад усиливает не только полезные сигналы, но и сигналы мешающих радиостанций. Полезный сигнал и сигналы помех, взаимодействуя друг с другом, вызывают искажения Если же на входе усилителя включен фильтр сосредоточенной селекции (ФСС), то мешающие сигналы попадают в усилитель резко ослабленными, и искажения значительно уменьшаются.

Особенно полезно включение фильтра сосредоточенной селекции в транзисторном приемнике, так как шунтирование контуров фильтров входными и выходными сопротивлениями транзисторов не позволяет получить высокую избирательность с помощью двухконтурных полосовых фильтров. Правда, как и в усилителях высокой частоты, путем неполного включения контуров (рис. 47) удается уменьшить

Таблица 7

Емкость конденсатора в контуре фильтра, *пф*	Индуктивность, *мкгн*	Число витков	Марка и диаметр провода	
			ПЭЛШО	ПЭВ
Катушки с карбонильными сердечниками СЦР				
120	1 000	3×100	0,12	0,15
200	600	3×75	0,15	0,18
510	240	3×50	0,23	0,27
Катушки с броневыми карбонильными сердечниками СБ-1а				
120	1 000	3×70	0,12	0,15
200	600	3×55	0,12	0,15
510	240	3×35	0,12	0,15
Катушки с ферритовыми сердечниками				
120	1 000	2×100	—	0,1
200	600	2×80	—	0,1
510	240	2×50	0,1	0,1

Примечание. Относительно конструкции каркасов катушек см. рис. 24, 25 и 26.

это шунтирование. Однако из-за сильных внутренних связей в транзисторах настройки одного из каскадов довольно резко влияет на настройку другого. Поэтому применение полосовых фильтров во всех каскадах усилителя промежуточной частоты транзисторного приемника вообще сложная задача, и лучше ограничиться одиночными контурами малой избирательностью, «поручив» обеспечение избирательности фильтру сосредоточенной селекции.

Фильтр сосредоточенной селекции представляет собой цепочку сьязанных контуров (рис. 48, *а*). Число контуров в зависимости от необходимой избирательности может быть от 3 до 9 — 13.

Частотная характеристика фильтра сосредоточенной селекции (рис. 48, *б*) отличается очень крутыми склонами, но на вершине кривой имеются впадины и пики. Полоса пропускания определяется граничными частотами f_1 и f_2. Они соответствуют тем частотам в полосе пропускания фильтра, при которых напряжение на выходе фильтра уменьшается до уровня 0,5 (до 6 *дб*).

Избирательность фильтра зависит от добротности контуров и их количества. Чем выше добротность и чем больше количество звеньев,

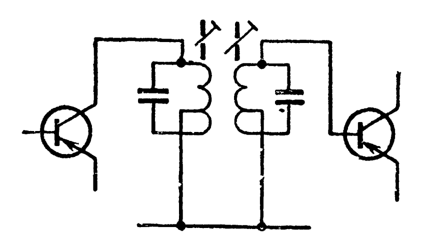


Рис. 47. Неполное включение контуров фильтра в транзисторном усилителе промежуточной частоты

а)

б)

Рис. 48. Схема фильтра сосредоточенной селекции и его частотная характеристика.

тем выше избирательность фильтра. При этом фильтр сосредоточенной селекции отличается большой прямоугольностью формы резонансной характеристики.

Все звенья фильтра одинаковые, но крайние звенья имеют индуктивность катушки в 2 раза больше, а емкость конденсатора в 2 раза меньше внутренних звеньев В табл. 8 приведены данные внешних и внутренних звеньев фильтра, собранного по схеме, показанной на рис. 48, *а* (промежуточная частота 465 *кгц*).

Таблица 8

C_2, *пф*	C_3, *пф*	L_1, *мгн*	L_2, *мгн*	Катушка L_1 (сердечник СБ-1)		Катушка L_2 (сердечник СБ-1)	
				Число витков	Провод	Число витков	Провод
400	200	0,28	0,56	120	ПЭЛ-0,15	170	ПЭЛ-0,1

Емкость конденсатора связи C_1 зависит от требуемой полосы пропускания. Например, при полосе 10 *кгц* $C_1=5$ *пф*, при 7 *кгц* — 3 *пф*.

Если вы решите ввести в свой приемник такой фильтр, то в первую очередь постарайтесь выбрать такую конструкцию катушек индуктивности, при которой обеспечивается возможно большая добротность. Лучше всего для фильтра сосредоточенной селекции применить катушки с броневыми сердечниками, причем при наличии ферритовых броневых сердечников можно получить очень высокие добротности порядка 200—800. Для исключения паразитных связей между катушками каждый контур должен быть тщательно экранирован. Особенно это важно для узкополосных фильтров, в которых связь между контурами мала.

При работе фильтра сосредоточенной селекции в транзисторном приемнике нужно сделать неполное включение контуров на входе и выходе, например с помощью отводов от обмоток катушки. Входной контур должен иметь отвод от 70-го витка, выходной — от 20-го (общее количество витков указано в табл. 8). Но замечу, что если фильтр узкополосный (полоса пропускания менее 10 *кгц*), то лучше увеличить в 2 раза емкости всех конденсаторов (контурных и связи) и уменьшить в 2 раза индуктивности всех катушек, по сравнению с данными, приведенными в табл. 8. Это позволит лучше согласовать фильтр с транзисторами, хотя избирательность его при этом несколько ухудшается.

АРУ И ИНДИКАТОР НАСТРОЙКИ

Мы рассмотрели все основные узлы супергетеродинного приемника, исключая детектор, усилитель низкой частоты и блок питания. Рассказывать об усилителе низкой частоты и блоке питания мы не будем — они не имеют специфических «супергетеродинных» особенностей и ничем не отличаются от соответствующих узлов приемника прямого усиления. Что же касается детектора, то в подавляющем

большинстве супергетеродинных приемников применяется самый простой диодный детектор.

Но в каждом хорошем супергетеродинном приемнике есть еще два вспомогательных узла: система автоматической регулировки усиления (АРУ) и индикатор настройки.

Наверное вы замечали, что на коротковолновом, да и на средневолновом диапазоне прием дальних радиостанций сопровождается замираниями: радиостанция то слышна громко и четко, то вдруг ее громкость уменьшается. Замирание может доходить до полного пропадания слышимости радиостанции, а потом прием вновь возобновляется с прежней громкостью. Такое явление вызвано изменением условий прохождения радиоволн от передатчика до антенны приемника

На первый взгляд может показаться, что с замиранием приема невозможно бороться. В самом деле, ведь при замирании на входе приемника изменяется уровень сигнала принимаемой радиостанции, в результате чего изменяется громкость приема. Что тут сделаешь? Но давайте рассуждать так: чтобы радиостанция все время была слышна с одинаковой громкостью, уровень сигнала на входе усилителя низкой частоты приемника не должен изменяться. Значит, надо стараться выровнять уровень сигнала не на входе приемника, а на входе усилителя низкой частоты, а это не одно и то же. Сделать неизменным уровень сигнала на входе приемника мы не можем, но поддерживать неизменным уровень сигнала на входе усилителя низкой частоты можно (правда, в известных пределах: когда радиостанция совсем «пропадет», тут уж ничего не сделаешь). Для этого нужно выбрать за исходный такой уровень сигнала, который имеет место при значительном замирании приема радиостанции. Обычно этот минимальный уровень определяют из таких соображений: диодный детектор работает без искажений при вполне определенной минимальной величине входного напряжения, поступающего от усилителя промежуточной частоты (например, для полупроводниковых детекторов такое минимальное напряжение составляет не менее 0,2 *в*, а для лампового диодного детектора — не менее 2 *в*). При улучшении условий прохождения радиоволн сигнал радиостанции увеличивается.

Чтобы сохранить уровень сигнала на входе усилителя низкой частоты неизменным, надо при этом соответствующим образом уменьшить усиление высокочастотных каскадов приемника (усилителя высокой частоты, преобразователя и усилителя промежуточной частоты). Другими словами, чем значительнее сигнал принимаемой радиостанции, тем меньше должно быть усиление приемника или, что то же самое, тем ниже должна быть чувствительность приемника. Уменьшать же усиление этих каскадов приемника можно различными способами, например, подавая на управляющие сетки ламп напряжения отрицательного смещения: чем больше отрицательные напряжения, тем меньше усиление каскадов.

Конечно, вручную такую регулировку производить неудобно, а иногда и просто невозможно — ведь уровень сигнала на входе приемника может изменяться очень быстро и часто. Для такой регулировки в схему приемника включают специальную автоматическую систему, сокращенно — АРУ (автоматическая регулировка усиления)

Между прочим, АРУ помогает не только в борьбе с замиранием приема. Предположим, что мы слушали дальнюю радиостанцию, сигнал от которой был очень слабым. Естественно, что при этом исполь-

зовалась максимальная чувствительность приемника. Но вот мы перешли на прием мощной близкой радиостанции. Если при приеме такой радиостанции не изменять чувствительность приемника, то и усилитель промежуточной частоты, и детектор перегрузятся, т. е. лампы усилителя промежуточной частоты будут работать с отсечкой по анодному току (в режиме ограничения); это же относится и к детектору. Вспомните форму высокочастотных колебаний при амплитудной модуляции (см. рис. 1). Представьте, что произошло ограничение амплитуды модулированного колебания: это означает частичное или полное срезание огибающей модулированных колебаний,

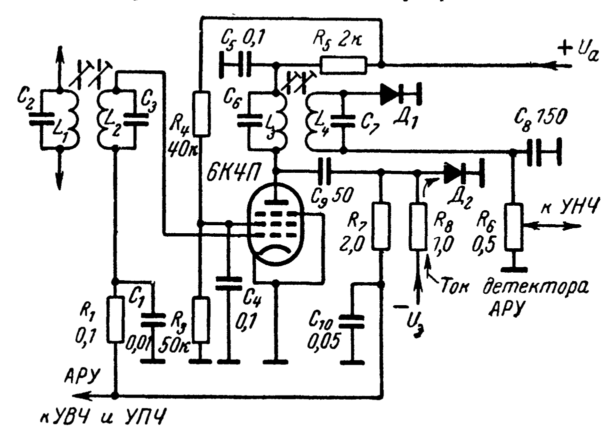


Рис. 49 Схема АРУ.

вплоть до превращения их в немодулированные. Поэтому при приеме мощного сигнала надо уменьшить чувствительность приемника до такой величины, при которой в усилителе промежуточной частоты и детекторе не будет происходить ограничения сигнала. Вот такое уменьшение чувствительности и выполнит АРУ. Может быть поэтому правильнее эту систему называть автоматической регулировкой чувствительности (АРЧ), что иногда и делают. Иногда эту систему называют также системой автоматической регулировки громкости (АРГ).

Однако прежде чем перейти к схемам АРУ, я хочу пояснить следующее. В книгах можно встретить выражение: «АРУ с задержкой». О какой задержке идет речь?

Под задержкой понимают то обстоятельство, что АРУ начинает действовать только после достижения сигналом некоторого определенного уровня Если сигнал меньше этого уровня, АРУ не работает. Поэтому при приеме слабых сигналов используется максимальная чувствительность приемника, а АРУ вступает в действие только после того, как сигнал превысит некоторый определенный уровень — порог включения АРУ.

На рис. 49 показана схема последнего каскада усилителя промежуточной частоты и детекторного каскада супергетеродинного приемника.

Диод $Д_1$, подключенный к правому контуру L_4C_7 последнего фильтра промежуточной частоты, является детектором приемника, а диод $Д_2$, присоединенный через конденсатор C_9 к контуру фильтра L_3C_6. служит детектором системы АРУ. На диод $Д_2$ подано отрицательное напряжение задержки $U_з$, например — 0,5 *в*. До тех пор, пока напряжение сигнала промежуточной частоты, подводимое к диоду $Д_2$, не превышает этого напряжения, диод заперт, и система АРУ не работает. Но как только напряжение промежуточной частоты превысит уровень 0,5 *в*, диод $Д_2$ откроется. Проходящий через диод ток создает на резисторе R_8 падение напряжения. Это напряжение, выпрямленное диодом $Д_2$ и отфильтрованное цепочкой R_7C_{10}, и является регулирующим напряжением системы АРУ.

Чем больше уровень принимаемого сигнала, тем больше напряжение сигнала промежуточной частоты, подводимое к диоду $Д_2$, и тем больше падение напряжения на резисторе R_8. Далее это напряжение через фильтры типа R_1C_1 поступает на управляющие сетки ламп усилителя высокой частоты, преобразователя и усилителя промежуточной частоты, сдвигая рабочую точку на характеристике каждой из регулируемых ламп в сторону отрицательных сеточных напряжений; тем самым усиление этих каскадов уменьшается.

Но может возникнуть, например, такой вопрос: как эффективно работает автоматическая регулировка? Сможет ли она поддерживать неизменным уровень сигнала на выходе приемника при очень значительных его изменениях на входе?

Предположим, что у нас имеется приемник, в котором цепью АРУ охвачены один каскад усилителя высокой частоты и два каскада усилителя промежуточной частоты (преобразовательный каскад имеет малое усиление, поэтому его не учитываем). Диапазон изменения входного напряжения A возьмем большим

$$A = \frac{U_{вх.макс}}{U_{вх.мин}} = 1\,000.$$

И далее условимся, что при таком изменении входного сигнала изменение выходного напряжения должно быть всего

$$P = \frac{U_{вых.макс}}{U_{вых.мин}} = 2{,}5.$$

Условия жесткие, что и говорить[1]. Посмотрим, обеспечит ли их система АРУ.

Предположим, что во всех каскадах, охваченных регулировкой АРУ, работают лампы 6К4П. Зависимость крутизны от сеточного напряжения для этой лампы показана на рис. 50. Определим по этой кривой крутизну характеристики для различных напряжений смещения и данные сведем в таблицу (см. табл. 9). Затем вычислим общую крутизну характеристик ламп каскадов, охваченных АРУ:

$$S_{общ} = S_1,\ S_2,\ S_3,$$

где S_1, S_2, S_3 — крутизна характеристики ламп отдельных каскадов.

---

[1] Такое соотношение изменения уровней входного и выходного напряжений соответствует требованиям, предъявляемым к АРУ радиовещательного приемника высшего класса, у которого выходное напряжение изменяется в 2,5 раза (на 8 *дб*) при изменении входного напряжения в 1 000 раз (на 60 *дб*).

Таблица 9

Напряжение смещения U_c, *в*	Крутизна характеристики S лампы 6К4П, *ма/в*	Общая крутизна характеристик $S_{общ} = S_1 S_2 S_3$
—1	4,5	91,1
—2	2,5	15,69
—3	1,5	3,37
—4	0,9	0,729
—5	0,6	0,216
—6	0,5	0,125
—7	0,37	0,05
—8	0,3	0,027
—9	0,25	0,0156
—10	0,22	0,01

Итак, максимальная общая крутизна характеристик $S_{общ.макс} = 91,1$, если исходное смещение на сетках ламп $U_{р.мин}$ равно — 1 *в*. Теперь нужно определить минимальную общую крутизну. Очевидно, что она будет зависеть от соотношения A и p:

$$S_{общ.мин} = \frac{S_{общ.макс}\,p}{A} = \frac{91,1 \cdot 2,5}{1\,000} = 0,23.$$

По табл. 9 определим, что такая величина $S_{общ.мин}$ соответствует смещению $U_{р.макс} = -5$ *в*. Таким образом, регулирующее напряжение АРУ $\Delta U_р$ должно изменяться от —1 до —5 *в*, т. е.

$$\Delta U_р = U_{р.макс} - U_{р.мин} = 5 - 1 = 4 \text{ в}.$$

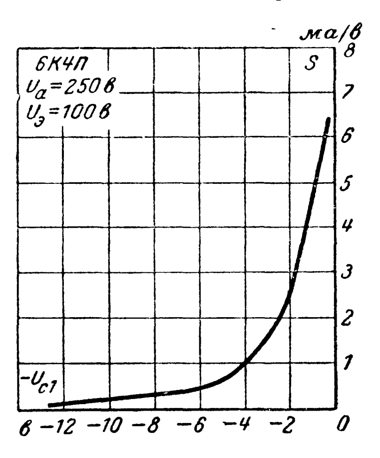


Рис. 50 Зависимость крутизны лампы 6К4П от напряжения на управляющей сетке.

Условимся теперь, что минимальное напряжение сигнала промежуточной частоты на входе детектора должно быть равно $U_{д.мин} = 2$ *в*. При большем сигнале на входе приемника максимальное напряжение на входе детектора (с учетом принятого нами допустимого изменения выходного напряжения приемника в p раз) будет равно:

$$U_{д.макс} = U_{д.мин}\,p = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ в}.$$

Итак, максимальное напряжение промежуточной частоты равно 5 *в*. Но ведь это же напряжение является источником для полу-

чения регулирующего напряжения АРУ. А максимально необходимая величина $U_р$ тоже равна 5 *в*. Следовательно, данная система АРУ может обеспечить заданное нами изменение выходного напряжения *p* при изменении входного напряжения на величину *A*

Вот так обычно рассчитывают систему АРУ. Что же касается данных остальных элементов схемы, то они приведены на рис. 49.

Однако при всех положительных качествах система АРУ все же создает определенные неудобства в пользовании приемником. Одно из них заключается в трудности настроики приемника на слух точно на частоту принимаемой радиостанции. В самом деле, ведь система АРУ поддерживает уровень сигнала на входе усилителя низкой частоты постоянным при любом уровне входного сигнала Поэтому и при точной и при неточной настройке приемника на частоту радиостанции громкость ее передачи при работе системы АРУ одинакова, и приходится долго вращать ручку настройки то в одну, то в другую сторону, пока удастся определить среднее положение между двумя крайними положениями ручки настройки, при которых громкость приема радиостанции уменьшается. Если прием к тому же сопровождается замираниями, то настроиться на частоту радиостанции — сложная задача.

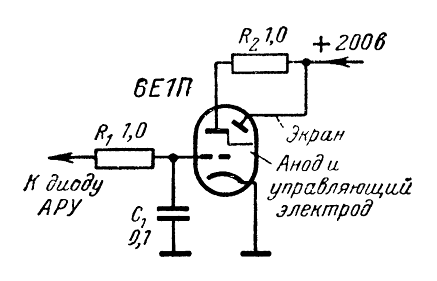


Рис 51. Схема включения оптического индикатора настройки

Чтобы облегчить настройку, в приемники с АРУ вводят индикаторы настройки В радиовещательных приемниках в качестве индикатора используют специальную электронную лампу 6Е1П или стрелочные индикаторы.

Электронный индикатор (рис. 51) представляет собой комбинацию триода с люминесцирующим экраном, светящимся зеленым светом под действием потока электронов. Триод лампы и экран, внутренняя поверхность которого покрыта окисью цинка, имеют общий подогревный катод К аноду триода присоединена ножевидная узкая пластина — управляющий электрод, расположенный между экраном и катодом. Экран и анод с управляющим электродом (последние — через резистор R_2) соединены с плюсом источника анодного напряжения.

Работает индикатор следующим образом Когда на входе приемника нет сигнала радиостанции, на сетке триода имеется лишь небольшое отрицательное смещение, соответствующее начальному напряжению смещения на сетках ламп блоков УВЧ и УПЧ приемника В этом случае через триод индикатора проходит максимальный ток, и напряжение на его аноде и управляющем электроде меньше, чем на экране (за счет падения напряжения на резисторе R_2) Электроны, вылетевшие из катода, попадают на экран и заставляют светиться его поверхность, за исключением той части, которую экранирует управляющий электрод, так как он обладает отрицательным по отношению к экрану потенциалом. В результате на экране образуется теневой сектор.

При настройке на радиостанцию отрицательное напряжение АРУ увеличивается и достигает максимума в момент точной настройки. Соответственно увеличивается и отрицательное напряжение на сетке триода индикатора. В результате ток через триод уменьшается, а напряжение на его аноде и управляющем электроде повышается, так как уменьшается падение напряжения на резисторе R_2. Следовательно, управляющий электрод становится менее отрицательным по отношению к экрану, он меньше экранирует его, и теневой сектор сужается. Чем больше отрицательное напряжение АРУ на сетке триода индикатора, тем у́же теневой сектор. Поэтому в момент точной настройки приемника на радиостанцию теневой сектор минимален.

Схема включения стрелочного индикатора показана на рис. 52 Прибор включен в диагональ моста, одно плечо которого образовано внутренним сопротивлением лампы $Л_1$ и резистором R_1, а другое — резисторами R_3 и R_4. Резистор R_3 делается переменным и с его помощью производится балансировка моста или, иначе говоря, установка прибора на нуль при отсутствии сигнала. Кроме того, в тех случаях, когда чувствительность прибора оказывается чрезмерно высокой и его стрелка при приеме громко слышимых радиостанций уходит за шкалу, прибор шунтируют резистором, величина которого подбирается практически. Работа схемы происходит следующим образом. При настройке на радиостанцию на управляющей сетке лампы появляется дополнительное отрицательное напряжение, поступающее от детектора АРУ. В результате возрастает внутреннее сопротивление лампы, уменьшается ее анодный ток и происходит нарушение балансировки схемы Возникающее при этом напряжение между точками *а* и *б* пропорционально уровню сигнала и достигает наибольшей величины в момент точной настройки на радиостанцию. Соответственно отклонение стрелки прибора в этот момент будет максимальным.

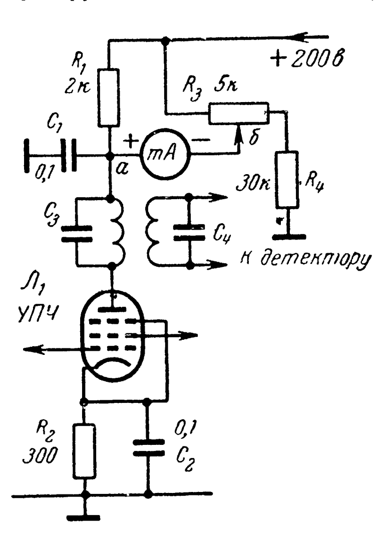


Рис 52. Схема включения стрелочного индикатора настройки.

О БЛОК-СХЕМЕ И ПАРАМЕТРАХ СУПЕРГЕТЕРОДИНА

Предположим, что вы задались целью построить приемник с определенными параметрами, т. е. вы хотите, чтобы он обладал нужной избирательностью, чувствительностью, диапазоном принимаемых частот и качеством воспроизведения передачи. Каким должен быть такой приемник, сколько у него должно быть каскадов усиле-

ния промежуточной частоты, необходим ли усилитель высокой частоты? Словом, по какой блок-схеме должен быть собран такой приемник, сколько у него должно быть каскадов в каждом усилительном блоке, какие надо применить в нем колебательные контуры?

Прежде чем рассказывать о том, как проектируют приемник, надо рассмотреть качественные электрические показатели радиовещательных супергетеродинных приемников. Надо представлять себе, правильно ли мы выбираем параметры проектируемого нами приемника, т. е. сравнить их с параметрами известных заводских приемников.

Радиовещательные приемники у нас выпускают в соответствии с государственным общесоюзным стандартом ГОСТ 5651-64. По этому стандарту приемники разделяются на пять классов: высший класс, первый (I), второй (II), третий (III) и четвертый (IV) классы. Стандарт определяет многие параметры приемников, в том числе даже такие, как напряжение питания, уровень фона переменного тока, потребление энергии от источника питания и т. п. Мы будем рассматривать не весь ГОСТ[1] на приемники, а только самые основные параметры: чувствительность, избирательность по соседнему и зеркальному (симметричному) каналам.

Как вы помните, чувствительность приемника определяется величиной напряжения (в микровольтах) высокочастотного сигнала (при 30%-ной модуляции) на входе приемника, при котором на выходе усилителя низкой частоты развивается нормальная выходная мощность (см. стр. 22)[2]. Очевидно, что чем меньше напряжение на входе приемника, при котором получается нормальная выходная мощность, тем лучше способность приемника принимать слабые сигналы, т. е. тем выше его чувствительность и тем больше возможность приема дальних и слабых радиостанций.

ГОСТ устанавливает следующие нормы чувствительности приемников по классам [3]:

Высший класс	50 *мкв* (на ДВ, СВ и КВ)
I и II классы	150 *мкв* (на ДВ и СВ), 200 *мкв* (на КВ)
III класс	200 *мкв* (на ДВ и СВ)
IV класс	300 *мкв* (на ДВ и СВ)

Итак, максимальная чувствительность радиовещательного приемника высшего класса установлена равной 50 *мкв*. А почему именно 50 *мкв*? Ведь современные электронные лампы и транзисторы позволяют создавать приемники значительно более высокой чувствительности (единицы микровольт и меньше).

---

[1] Желающие могут познакомиться с ГОСТ 5651-64 в журнале «Радио», № 1, 1966.

[2] ГОСТ 5651—64 предусматривает определение чувствительности при выходной мощности 50 *мвт* (или 5 *мвт* для приемников с номинальной выходной мощностью не более 150 *мвт*).

[3] Приемники III и IV классов имеют только длинноволновый (ДВ) и средневолновый (СВ) диапазоны.

Мы уже договорились, что самое главное требование, предъявляемое к радиовещательным приемникам, — высокое качество воспроизведения радиопередачи. Поэтому при радиовещательном приеме уровень сигнала принимаемой радиостанции должен превышать уровень шумов не менее чем на 20 *дб* (в 10 раз). Под шумами понимают внутренние шумы приемника (см. стр. 61), промышленные и атмосферные помехи, а также мешающее действие соседних и зеркальных радиостанций. Опытным путем установлено, что указанное превышение уровня полезного сигнала над шумами создают только те радиостанции, которые образуют в антенне приемника э. д с. не менее 50 *мкв*. Более дальние и слабые радиостанции, создающие в антенне

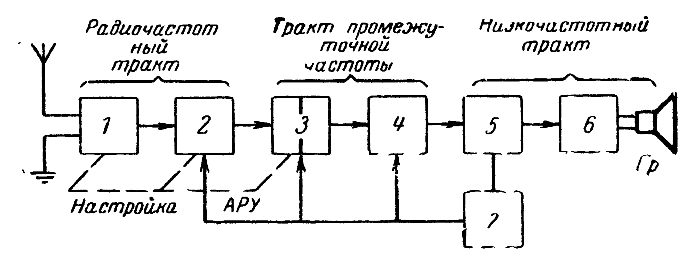


Рис. 53. Блок-схема супергетеродинного приемника.

приемника э. д. с. менее 50 *мкв*, настолько «забиваются» шумами, что о нормальном приеме без помех и искажений не может быть и речи. Поэтому нецелесообразно делать радиовещательный приемник очень чувствительным — во всяком случае с чувствительностью лучше 50 *мкв*.

Поэтому не будем напрасно усложнять наш приемник и выберем его чувствительность равной 50 *мкв*. Из каких блоков и какого количества каскадов должен состоять приемник, чтобы обладать такой чувствительностью? По опыту можно предугадать (посмотрите схемы заводских приемников высшего класса), что приемник такой чувствительности придется собрать по схеме, показанной на рис. 53. Он будет состоять из следующих блоков: входного устройства *1*, усилителя высокой частоты *2*, преобразователя *3* (смесителя и гетеродина), усилителя промежуточной частоты *4*, детектора *5*, усилителя низкой частоты *6* и блока АРУ (*7*). Определим количество каскадов в отдельных блоках.

Вспомните, что в определении чувствительности участвует такое понятие, как «нормальная выходная мощность». Казалось бы, что чувствительность приемника зависит от мощности усилителя низкой частоты — чем мощнее этот усилитель, тем чувствительнее приемник. Однако это не так. От того, что к приемнику будет подключен более мощный усилитель низкой частоты, он не станет чувствительнее. Дело в том, что дальние радиостанции будут приниматься без искажений только в том случае, если они создадут на входе детектора сигнал не менее определенной величины. Детектирование будет происходить без искажений только в том случае, если напряжение на входе лампового диодного детектора будет не меньше 1—2 *в*, а полупроводникового не меньше 0,2 *в*. Поэтому высокочастотные бло-

ки — входное устройство, усилитель высокой частоты, преобразователь и усилитель промежуточной частоты — должны обладать таким усилением, чтобы при входном напряжении 50 *мкв* напряжение на входе детектора достигло 1—2 *в* или 0,2 *в*. Если в нашем приемнике применить ламповый детектор, то коэффициент усиления каскадов приемника, находящихся до детектора, должен быть равен:

$$K_{пр}=\frac{U_{вх.д}}{U_{вх}}=\frac{2}{50\cdot10^{-6}}=4\cdot10^{4}.$$

Вообще при определении числа каскадов приемника следует принять наиболее «тяжелый» случай, т. е. выбрать коэффициент усиления с запасом в 1,5—2 раза и считать $K_{пр}=8\cdot10^4$. Тогда требуемая чувствительность будет наверняка обеспечена. Кроме того, значительное усиление блоков высокой и промежуточной частоты повышает эффективность работы АРУ и позволяет автоматически регулировать усиление приемника, начиная с более малого уровня входного напряжения, а значит, увеличить величину A (см. стр. 78).

Итак, примем для нашего приемника коэффициент усиления $K_{пр}=8\cdot10^4$. Теперь надо распределить это усиление между входным устройством, усилителем высокой частоты, преобразователем и усилителем промежуточной частоты. Можно считать, что эти каскады приемника обладают следующим коэффициентом усиления:

Входное устройство	2—5 (на КВ)
Каскад УВЧ:	
на лампе, апериодический .	15—20 (на ДВ и СВ)
на лампе, резонансный . .	3—6 (на КВ), 20—25 (на ДВ и СВ)
на транзисторе, апериодический	5—8 (на ДВ и СВ)
на транзисторе, резонансный	3—5 (на КВ), 15—20 (на ДВ и СВ)
Преобразователь частоты:	
на лампе	15—25
на транзисторе	1
Каскад УПЧ:	
на лампе	70—120
на транзисторе, апериодический	10—15
на транзисторе, резонансный	70—80

Распределять усиление между блоками усиления высокой частоты и блоками усиления промежуточной частоты надо в следующей пропорции: коэффициент усиления по промежуточной частоте $K_{п.ч}$ должен быть в 100—200 раз больше коэффициента усиления по высокой частоте $K_{в.ч}$ (вспомните, ведь основное усиление сигнала производится на промежуточной частоте).

Предположим, что мы строим ламповый приемник и он будет иметь входное устройство и один каскад усиления высокой частоты.

Тогда общий коэффициент усиления по высокой частоте на коротковолновом диапазоне

$$K_{в.ч} = K_{вх.устр} K_{у.в.ч} = 3{,}5 \cdot 5{,}5 \approx 20.$$

Отсюда требуемый коэффициент усиления по промежуточной частоте (усиление преобразователя частоты и усилителя промежуточной частоты)

$$K_{п.ч} = \frac{K_{пр}}{K_{в.ч}} = \frac{8 \cdot 10^4}{20} = 4 \cdot 10^3.$$

Проверяем соотношение выбранных коэффициентов

$$\frac{K_{п.ч}}{K_{в.ч}} = \frac{4 \cdot 10^3}{20} = 200.$$

Такое соотношение приемлемо.

Далее определим число каскадов усилителя промежуточной частоты. Очевидно, что коэффициент $K_{п.ч} = 4 \cdot 10^3$ можно получить с помощью двухкаскадного усилителя, так как даже при коэффициенте усиления одного каскада, например 70, двухкаскадный усилитель будет обладать усилением $K_{у.п.ч} = 70^2 = 4{,}9 \cdot 10^3$. Кроме того, если еще учесть коэффициент усиления преобразователя, больший единицы (во всех схемах, кроме схемы диодного преобразователя), то необходимый коэффициент усиления $K_{п.ч}$ будет наверняка обеспечен при двухкаскадном усилителе промежуточной частоты.

Таким образом, исходя из принятой чувствительности 50 *мкв*, мы определили, что приемник должен содержать один каскад усиления высокой частоты и два каскада усиления промежуточной частоты. Теперь надо проверить выбранную блок-схему приемника из соображений получения нужной избирательности.

Избирательность супергетеродинного приемника Se показывает (см. стр 49), во сколько раз будет ослаблена амплитуда сигнала соседней по частоте радиостанции (т. е. сдвинутой по частоте на ± 10 *кгц*) по сравнению с амплитудой полезного сигнала $U_{рез}$, частота которого равна частоте настройки.

ГОСТ устанавливает следующие требования к избирательности радиовещательных приемников: высший класс —60 *дб*, I класс — 46 *дб*; II класс — 34 *дб*; III класс — 26 *дб*, IV класс — 16 *дб*.

Почему выбраны именно такие значения избирательности по соседнему каналу? Как и при выборе чувствительности, в этом случае необходимо получить наилучшее качество воспроизведения радиопередачи. Выбрать худшую избирательность — значит, увеличить уровень помех, особенно при приеме дальних станций Если же принять более высокие значения избирательности, то придется очень усложнить усилитель промежуточной частоты, причем число его каскадов будет определяться не коэффициентом усиления, необходимым для получения заданной чувствительности приемника, а соображениями обеспечения высокой избирательности. Вы, конечно, помните, что избирательность по соседнему каналу обеспечивается фильтрами усилителя промежуточной частоты. Как рассчитать эти фильтры на заданную избирательность, рассказано на стр. 69. Там же приведен расчет для приемника с избирательностью по соседнему каналу 60 *дб*. Из расчета видно, что получить такую избирательность по соседнему каналу при двухкаскадном усилителе промежуточной частоты можно только в том случае, если применить в его фильтрах контуры высо-

кой добротности. Получить значительно лучшую избирательность по соседнему каналу при двухкаскадном усилителе уже не удается. Именно поэтому ГОСТ предусматривает для приемника высшего класса (а такой приемник, как мы установили выше, должен иметь двухкаскадный усилитель промежуточной частоты для получения чувствительности 50 *мкв*) избирательность по соседнему каналу 60 *дб*.

Однако припомните, что когда мы рассчитывали фильтры промежуточной частоты приемника на избирательность по соседнему каналу 60 *дб*, то оказалось возможным получить такую избирательность при связи между контурами $\eta=1$ (т. е. при критической связи и одновершинной резонансной характеристике) только при добротности контуров фильтров около 210—220 Это большая добротность, поэтому мы пересчитали контуры фильтров на добротность $Q=140$ и определили, что при такой добротности необходимая избирательность может быть получена только при значительно меньшей связи между катушками фильтров $\eta=0{,}3$. Однако при этом резко уменьшается коэффициент усиления каскада УПЧ. Если принять такую связь ради уменьшения добротности контуров фильтров промежуточной частоты, то надо проверить, обладает ли двухкаскадный усилитель промежуточной частоты усилением, необходимым для получения чувствительности приемника 50 *мкв*.

Для этого по формуле, приведенной на стр. 72, подсчитаем коэффициент усиления каскада УПЧ, например на лампе 6К4П:

$$K=\frac{\eta}{\eta^2+1}SR_{\text{рез}}=\frac{\eta}{\eta^2+1}SQ\sqrt{\frac{L}{C}}=$$

$$=\frac{0{,}3}{0{,}3^2+1}\cdot 4{,}5\cdot 10^{-3}\,140\sqrt{\frac{600}{0{,}0002}}=316.$$

Двухкаскадный усилитель будет обладать усилением $K_{\text{у.п.ч}}=K^2=316^2=1\cdot 10^4$. А нам требуется коэффициент усиления по промежуточной частоте $K_{\text{п.ч}}=4\cdot 10^3$. Но с учетом коэффициента усиления преобразователя частоты $K_{\text{преоб}}=20$ получим общий коэффициент усиления по промежуточной частоте нашего будущего приемника

$$K_{\text{п.ч}}=K_{\text{у.п.ч}}\,K_{\text{преоб}}=1\cdot 10^4\cdot 20=2\cdot 10^5.$$

Это много больше необходимого нам усиления. Таким образом получается, что можно обойтись одним каскадом УПЧ, но раньше мы установили, что избирательность в 60 *дб* (при добротности контуров 140) может быть обеспечена только двухкаскадным УПЧ. Поэтому придется снизить коэффициент усиления соответствующим выбором режима лампы.

Теперь выберем избирательность приемника по зеркальному каналу. ГОСТ устанавливает следующие значения этой избирательности на коротковолновом диапазоне : высший класс — 25 *дб*; I класс — 14 *дб*; II класс — 12 *дб*.

Как видите, требования к избирательности по зеркальному каналу более скромные, чем к избирательности по соседнему каналу. Чем это вызвано? Может быть помехи от радиостанций, работающих на зеркальном канале, меньше мешают приему, чем помехи от соседних радиостанций?

Нет, помехи и от тех, и от других станций одинаково неприятны. Правда, можно надеяться, что вероятность появления помехи по зеркальному каналу на ДВ и СВ не столь велика, как по соседнему: ведь зеркальная помеха появится только в том случае, если мешающая радиостанция работает на частоте, которая на $2f_п$ выше частоты принимаемой полезной радиостанции. Но коротковолновый диапазон столь плотно «заселен» самыми различными радиостанциями, что вероятность появления зеркальной помехи тоже очень велика. Видимо, ГОСТ предъявляет к избирательности по зеркальному каналу меньшие требования по каким-то другим причинам. Как вы помните, избирательность по зеркальному каналу обеспечивается высокочастотными контурами, включенными перед смесителем. Один такой контур с добротностью $Q=50\div80$ на коротковолновом диапазоне обеспечивает избирательность $Se=12\div20$.

Радиоприемники высшего класса имеют усилитель высокой частоты. Их избирательность по зеркальному каналу, обеспечиваемая уже двумя высокочастотными контурами, почти вдвое лучше избирательности приемника, не имеющего усилителя высокой частоты. Но чтобы получить еще лучшую избирательность по зеркальному каналу, приближающуюся к значению избирательности по соседнему каналу, надо иметь в приемнике два каскада усиления высокой частоты, а это сложная задача, так как требуется счетверенный блок конденсаторов настройки, двухкаскадный усилитель высокой частоты работает менее устойчиво, увеличиваются габариты переключателя диапазонов и количество высокочастотных контуров. Вот почему даже в очень хороших радиовещательных приемниках ограничиваются избирательностью по зеркальному каналу, равной 26 *дб*.

Из сказанного можно сделать вывод, что если вы хотите сделать приемник с высокой избирательностью по зеркальному каналу, то надо ввести в его схему резонансный усилитель высокой частоты, вне зависимости от того, требуется ли он для получения необходимой чувствительности.

Итак, порядок составления блок-схемы супергетеродинного приемника следующий. Исходя из соображений необходимой избирательности по зеркальному каналу, определяют количество высокочастотных контуров, включенных перед смесителем; при этом ориентируются на определенную добротность этих контуров. В результате выясняется, должен ли приемник иметь резонансный усилитель высокой частоты

Затем, учитывая предполагаемую чувствительность будущего приемника, определяют коэффициент $K_{в.ч}$. Если он недостаточен, т. е. меньше $^1/_{200}$ $K_{п.ч}$, то в схему приемника придется ввести апериодический каскад усилителя высокой частоты (если не хотят вводить резонансный каскад УВЧ или один такой каскад уже имеется в схеме приемника).

Далее переходят к усилителю промежуточной частоты, выбирая количество его каскадов, добротность контуров и связь между контурами фильтра таким образом, чтобы добиться получения, с одной стороны, нужной избирательности по соседнему каналу, а с другой, — требуемой полосы пропускания (см. стр. 68). Определенное таким образом количество каскадов проверяют с точки зрения получения необходимого коэффициента усиления и устойчивой работы усилителя. Если коэффициент усиления УПЧ меньше необходимого коэффициента $K_{п.ч}$, то для получения нужной чувствительности приемника надо увеличить число каскадов усилителя промежуточ-

ной частоты, применив фильтры промежуточной частоты с меньшей добротностью.

В заключение выбирают усилитель низкой частоты. Коэффициент его усиления должен быть таким, чтобы обеспечить необходимое напряжение звуковой частоты U на сетке лампы оконечного каскада:

$$K_{н.ч} = \frac{U}{0,9U_{вх.д}},$$

где $U_{вх.д}$ — напряжение на входе детектора, *в*.

Величина напряжения U зависит от схемы выходного каскада (двухтактная или однотактная), а также выходной лампы. Таким образом, коэффициент усиления этого усилителя не зависит от чувствительности приемника, а определяется только необходимой выходной мощностью приемника.

На основании такого расчета составляют блок-схему приемника, на которой указывают количество каскадов, типы ламп или транзисторов, коэффициенты усиления каждого каскада, частоту настройки контуров, их добротность и полосу пропускания. Затем по блок-схеме подбирают типовые принципиальные схемы отдельных каскадов и составляют общую принципиальную схему приемника.

ОТ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ — К РЕАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Перед вами принципиальная схема супергетеродинного приемника. Как же эту схему воплотить в реальную конструкцию?

Это не просто. И не только потому, что для этого надо уметь слесарничать, паять и монтировать радиодетали. Дело в том, что принципиальная схема во многом отличается от реальной схемы приемника, собранного не из воображаемых, а настоящих деталей.

Самое главное, что отличает реальную конструкцию от ее принципиальной схемы — наличие в конструкции паразитных связей между отдельными деталями и блоками. Возникновение этих связей (емкостных — через емкость между проводниками и деталями монтажа, индуктивных — из-за взаимоиндукции между контурными катушками, проводниками, дросселями и трансформаторами, активных — из-за протекания токов нескольких каскадов через общее сопротивление, например, через резистор в общей цепи питания или через внутреннее сопротивление источника питания) может так видоизменить реальную схему приемника, что его работа становится неустойчивой, он самовозбуждается и его параметры совершенно не соответствуют расчетным. Таким образом, принцип конструирования заключается в том, чтобы избежать возникновения паразитных связей или хотя бы сделать их как можно меньше. Этого можно достигнуть соответствующим расположением блоков и даталей на шасси приемника и применением экранировки.

Однако прежде всего надо представлять себе, какие паразитные связи могут возникнуть в данной схеме. Поэтому рассмотрим обычную блок-схему супергетеродинного приемника (рис. 54) и нанесем на нее возможные паразитные связи. Заметим, что особенно трудно конструировать транзисторные приемники. Как правило, их стараают-

ся сделать малогабаритными, а это приводит к очень тесному монтажу и плотному расположению деталей на шасси. «Теснота» же — весьма благоприятная почва для возникновения всевозможных паразитных связей. Поэтому не очень увлекайтесь малыми габаритами.

Итак, рассмотрим возможные паразитные связи в блок-схеме, показанной на рис 54

Связь 1. Это либо емкостная связь между секциями блока конденсаторов настройки, либо индуктивная — между катушками входного и гетеродинного контуров. Такая связь приводит к неустойчивой работе гетеродина, особенно в высокочастотной части диапазона, а также к зависимости настроек этих контуров друг от друга.

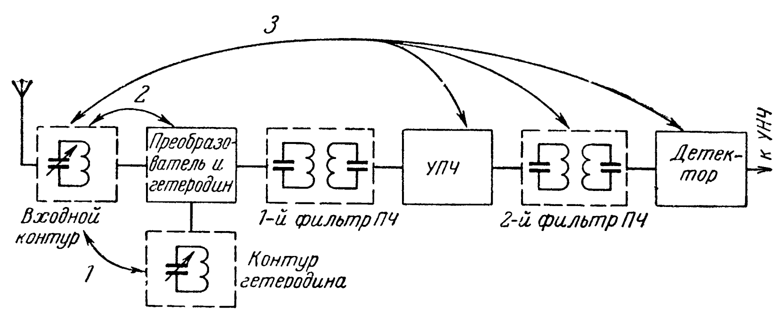


Рис. 54. Наиболее частые паразитные высокочастотные связи в супергетеродинном приемнике.

Чтобы такой связи не возникало, контурные катушки надо располагать возможно ближе к блоку конденсаторов настройки и к переключателю диапазонов, чтобы укоротить соединительные провода. Если применяется галетный переключатель диапазонов и катушки индуктивности больших размеров (катушки с карбонильными цилиндрическими сердечниками), то катушки входного контура отделяют от катушек гетеродинного контура металлическими перегородками (экранами) или заключают их в металлические стаканы или прямоугольные коробки.

Катушки с броневыми карбонильными или ферритовыми сердечниками можно не экранировать, так как их магнитные поля практически сосредоточены внутри сердечника. Это же относится к малогабаритным катушкам с цилиндрическими ферритовыми сердечниками.

Если в приемнике применена ферритовая антенна, магнитное поле которой всегда значительно, то катушку гетеродинного контура следует располагать так, чтобы их магнитные поля были взаимно перпендикулярны В противном случае придется экранировать гетеродинный контур.

Связь 2. Это связь между выходом лампы или транзистора преобразователя и магнитной антенной или катушкой входного контура. Такая связь приводит к самовозбуждению на частотах, близких к промежуточной.

Связь 3. Индуктивная или емкостная связь выхода усилителя промежуточной частоты с входом преобразователя. Возникает тем чаще, чем больше усиление сигнала промежуточной частоты. Приводит

к самовозбуждению усилителя промежуточной частоты или к неустойчивой работе приемника на частотах, близких к промежуточной. Особенно часто возникает в транзисторных малогабаритных приемниках с магнитной антенной. Поэтому при размещении деталей на шасси надо стараться максимально удалить последний фильтр промежуточной частоты от антенных цепей, хорошо его экранировать, а если надо, то экранировать и транзистор последнего каскада усилителя промежуточной частоты.

Такого же рода связь может возникнуть и при близком расположении детектора или регулятора громкости около входных цепей приемника

Конечно, здесь перечислены только основные паразитные высокочастотные связи Предосторожности следует соблюдать при монтаже каждого высокочастотного каскада: относить как можно дальше сеточную цепь от анодной (базовую от коллекторной); детали, относящиеся к данному каналу, располагать вокруг ламповой панели со стороны тех ее выводов, к которым эти детали должны присоединяться, все заземления данного каскада производить в одной точке, которую надо надежно соединять с шасси.

Прежде чем собирать приемник, обязательно составьте монтажную схему. Для этого из плотной бумаги надо вырезать контуры деталей в двух проекциях — в плане и сбоку. На миллиметровой бумаге вычертить прямоугольник, примерно соответствующий размеру шасси. Затем, припомнив все сказанное выше о паразитных связях, постарайтесь разместить в этом прямоугольнике детали будущего приемника. Когда места расположения деталей найдены, отметьте на чертеже шасси контуры деталей, центры отверстий, необходимые вырезы и т. п. Продумайте способы крепления деталей, размещение экранов, расположение ручек настройки. Если окажется, что надо передвинуть детали — лучше это сделать на листе бумаги, чем потом в конструкции.

Особенно тщательно надо продумать расположение деталей малогабаритного приемника при тесном монтаже. Желательно на чертеже шасси нарисовать детали в натуральную величину и соединить их линиями — проводниками, т е. составить монтажную схему. Не жалейте на это времени, потому что такая предварительная работа сэкономит время потом, когда будете делать настоящий монтаж, а главное — позволит заранее продумать расположение деталей и избежать ошибок, которые очень трудно устранить на уже сделанном шасси.

При составлении монтажной схемы одновременно надо выбрать вид монтажа приемника. В настоящее время применяют следующие виды монтажа:

1. Свободный (плоскостной) монтаж, когда все детали размещены на одном плоском шасси. Этот вид монтажа наиболее широко распространен в радиолюбительской аппаратуре.

2. Объемный монтаж, при котором радиодетали заполняют весь объем радиоприбора в несколько этажей. Такой монтаж отличается большой компактностью, но радиолюбители применяют его редко, так как хотя радиоаппарат удается сделать малогабаритным, но очень затруднен доступ к радиодеталям в случае ремонта или налаживания.

3. Печатный монтаж. При этом способе монтажа радиодетали укрепляют на гетинаксовой плате (панели), а соединения между ними осуществляют плоскими проводниками, прикрепленными к одной

стороне платы. Печатные платы изготовляют следующим образом: на фольгированный гетинакс (гетинакс, обклеенный медной фольгой) наносят типографским способом (почему такой монтаж и называется «печатным») рисунок печатного монтажа, после чего плату погружают в травящий раствор. В местах, не защищенных краской, фольга вытравливается, и на плате остаются проводники, которые были защищены краской. Печатный монтаж используется главным образом в малогабаритной аппаратуре на полупроводниках[1].

4. Блочный монтаж характеризуется разделением всего радиоустройства на ряд отдельных блоков. Такой монтаж часто применяют в сложных радиоустройствах. Внутри же каждого блока монтаж может быть свободным, объемным или печатным.

Если для электрического соединения радиодеталей используется жесткий провод или проволочные выводы самих деталей, монтаж называется жестким. Когда же применяется гибкий изолированный провод, монтаж называется мягким.

Жесткий монтаж применяется преимущественно в высокочастотных каскадах радиоприемника. Его выполняют медным голым луженым проводом диаметром 1—1,5 *мм* (помятый монтажный провод выпрямляют вытягиванием: один конец провода закрепляют в тисках, а другой зажимают плоскогубцами и вытягивают). При пересечении проводов на них надо надеть кембриковые трубочки. Не следует заключать провода в полихлорвиниловые трубки, так как при пайке они плавятся и оголяют провод. Детали небольшого размера крепят непосредственно на лепестках ламповых панелей и на выводах крупных деталей, закрепленных на панели или шасси. Если мелкие радиодетали не удается так укрепить, для их подвески используют опорные изоляторы — укрепленные на шасси изоляционные стойки с металлическими контактными лепестками. Концы провода при монтаже механически закрепляют в лепестках или выводах деталей, а затем опаивают свинцовооловянистым припоем.

Соединение выводов деталей и проводов с шасси осуществляют с помощью так называемых заземляющих лепестков. Их крепят к шасси винтами с гайками, заклепками, пистонами или припаивают к шасси.

Мягкий монтаж применяют в низкочастотных блоках приемника, при монтаже цепей питания или выпрямительных устройств. Такой монтаж выполняют гибким многожильным проводом в полихлорвиниловой изоляции. При этом мелкие радиодетали, как правило, крепят на монтажных (расшивочных) панелях из изоляционного материала, имеющих два ряда контактов, к которым припаивают проволочные выводы деталей и монтажные провода. На каждой паре контактов (лепестков) крепят одну деталь (резистор, конденсатор, полупроводниковый диод), но иногда для уменьшения размеров монтажной панели к каждому лепестку крепят вывод не одной, а двух деталей (конечно, если эти выводы должны по схеме соединяться).

Монтаж цепей накала ламп производят свитым в шнур гибким проводом в резиновой или полихлорвиниловой (винилитовой) изоляции. Для уменьшения фона переменного тока среднюю точку обмотки накала на трансформаторе следует заземлить. При монтаже иногда приходится вести на значительное расстояние пучок прово-

---

[1] Подробнее о печатном монтаже можно прочесть в брошюре Г. А. Бортновского «Печатные схемы в радиолюбительских конструкциях», Госэнергоиздат, 1959.

дов. В этом случае их связывают в жгут, который укрепляют на шасси металлическими скобками

Поговорим теперь о выборе резисторов и конденсаторов

При выборе резисторов надо обращать внимание не только на сопротивление, но и на допуск номинального сопротивления, т. е наибольшее возможное отклонение действительной величины от номинальной, обозначенной на корпусе резистора, а также выбирать резистор необходимой электрической мощности Последнее означает, что резистор должен обладать способностью длительное время рассеивать определенную электрическую мощность без вреда для его работы в схеме. По допуску резисторы изготовляются с предельным отклонением от номинальной величины ±5, ±10 и ±20%, что же касается мощности резисторов, то она может быть 0,12; 0,25; 0,5, 1 и 2 *вт* и выше

В радиоприемной аппаратуре применяют следующие типы резисторов.

Резисторы ВС — это непроволочные углеродистые резисторы с мощностью от 0,12 до 2 *вт* и выше Резисторы этого типа представляют собой цилиндрический керамический стержень, на поверхность которого в виде спирали нанесен слой углерода, который и является собственно резистором

Резисторы МЛТ (или МЛШ) изготовляются мощностью от 0,25 до 2 *вт* Они представляют собой керамическую трубку, на поверхность которой по спирали нанесен очень тонкий слой специального металлического сплава, обладающего большим удельным сопротивлением Резисторы МЛТ окрашены в красный, а МЛШ — в зеленый цвет. По качеству резисторы МЛТ лучше резисторов МЛШ

Проволочные эмалированные резисторы ПЭ (или ПЭВ) представляют собой керамическую трубку, на которую намотана нихромовая или константановая проволока. Обмотка эта покрыта сверху стекловидной эмалью коричневого или зеленого цвета. Номинальная мощность этих резисторов от 2,5 до 100 *вт*.

В табл 10 ориентировочно указана мощность рассеяния резисторов (для ламповых приемников), а также допуск на сопротивления в зависимости от места резистора в схеме приемника. Замечу, что падение напряжения на резисторах типов ВС и МЛТ не должно быть более 150 *в*.

При выборе конденсаторов, кроме значения емкости и допустимого отклонения емкости (в процентах), надо обращать внимание на рабочее напряжение конденсатора — наибольшее напряжение между обкладками конденсатора, при котором он способен надежно и длительно работать Следует иметь в виду, что допустимое напряжение переменного тока на конденсаторе всегда меньше рабочего напряжения постоянного тока. При работе конденсатора в цепи пульсирующего тока сумма напряжения постоянного тока и амплитудного значения напряжения переменного тока не должна превышать его рабочего напряжения

Что касается выбора типа конденсатора для применения в данной цепи или в данном блоке приемника, то тут надо руководствоваться табл. 11. В этой таблице упомянуты следующие конденсаторы: (см. табл. 11).

Керамические конденсаторы типов КТК (трубчатый керамический), КТМ (трубчатый малогабаритный), КТН (трубчатый повышенной надежности) представляют собой тонкостенную керамическую трубку, на внешнюю и внутреннюю поверхность которой нане-

Таблица 10

Место резистора в схеме	Мощность рассеяния, *вт*	Допуск, %
Все цепи каскадов УВЧ и УПЧ и предварительного усиления НЧ на транзисторах .	0,12	±20
Цепи управляющих сеток ламп каскадов УВЧ, УПЧ и УНЧ, преобразователя, оптического индикатора настройки, цепи АРУ .	0,25	±20
Цепи сетки гетеродина, нагрузка детектора, цепь экранирующей сетки лампы каскада предварительного УНЧ, корректирующая цепочка этого каскада, цепи отрицательной обратной связи	0,25	±10
Цепи катода ламп УВЧ или предварительного каскада УНЧ, а также каскадов УПЧ (сопротивление автоматического смещения)	0,25	±5
Цепь экранирующей сетки лампы каскада УВЧ, УПЧ или лампы преобразователя, анодная цепь лампы каскада УВЧ и предварительного каскада УНЧ. Цепь первичной обмотки выходного трансформатора . .	0,5	±10
Цепи катода и экранирующей сетки лампы оконечного каскада УНЧ	1—2	±10

сены тонкие слои серебра. Керамические конденсаторы типов КДК (дисковый керамический), КДС (дисковый сегнетокерамический), КДМ (дисковый малогабаритный), КДУ (дисковый для УКВ) представляют собой тонкую круглую керамическую пластинку, на поверхности которой нанесены обкладки в виде слоев серебра

Перечисленные керамические конденсаторы выпускаются окрашенными в различные цвета. По цвету конденсатора можно судить об устойчивости его емкости к изменениям окружающей температуры. Конденсаторы, окрашенные серой эмалью (или имеющие на корпусе маркировку буквой Р), называют термостабильными, так как при изменениях температуры емкость их изменяется незначительно. Емкость конденсаторов, окрашенных в синий цвет (или маркированных буквой С), при повышении температуры увеличивается больше. Емкость конденсаторов, окрашенных в голубой, красный или зеленый цвета (или соответственно маркированных буквами М, Д или К), при повышении температуры, наоборот, уменьшаются. При этом меньше всего влияет температура на емкость конденсаторов голубого цвета и больше всего — на емкость конденсаторов зеленого цвета. Эти конденсаторы называются термокомпенсирующими. Они позволяют значительно улучшить работу контуров при изменении температуры окружающей среды — сделать работу контуров менее зависящей от температуры. Конденсаторы, окрашенные в оранжевый, желтый или красный цвета с синей отметкой, сделаны из сегнетокерамики. Их емкость сильно изменяется при изменении температуры, но зато при тех же габаритах они обладают большей емкостью, чем керамические конденсаторы.

Таблица 11

Место конденсатора в схеме	Рекомендуемый тип конденсатора	Рабочее напряжение конденсатора, *в*	Допуск, %	Вид конденсатора
Антенная цепь	КДК, КТК, КТМ	500, 150	Любой	Любой цвет
	КС, КСО	500, 250	»	Любая группа
	БМ, КБ, КБГ-И	150, 200	»	—
	ПМ	60	»	—
Колебательный контур гетеродина диапазонов СВ и ДВ	КТК	500	±5	Красный
	КС	500	±5	Группа П
	КСО	250, 500	±5	Группа В, Г
То же диапазона КВ	КТК, КТМ	500, 160	±10	Красный
Другие колебательные контуры диапазонов СВ и ДВ, фильтры ПЧ	КТК, КТМ	500, 160	±10	Красный
	КС	500	±10	Группа П
	КСО	250, 500	±10	Группа В, Г
То же, диапазона КВ	КТК, КДК, КДО КДМ, КТМ	500, 160	±20	Красный, голубой, серый, синий
Связь между контурами фильтра ПЧ	КДК, КТК, КТМ	500, 160	±10	Голубой, серый
	КС	500	±10	Группа О, М
	КСО	250, 500	±10	Группа В, Г
Цепь управляющей сетки лампы гетеродина	КДК, КТК, КТМ	500, 160	±10	Голубой, серый
	КС	500	±10	Группа О, М
	КСО	250, 500	±10	Группа В, Г
Конденсатор, шунтирующий резистор автоматического смещения	КТК, КДК	300, 500	Любой	Зеленый, красный, оранжевый, желтый
	КДС	250	+100 —20	
	КСО	250, 500	±20	Любая группа
	БМ, КБ, КБГ-И	150—400	±20	—
	КБГ-М1	400	±20	—
Фильтр цепи АРУ и сетки электронного индикатора настройки	БМ, КБ, КБГ-И, КБГ-М1	150—200	±20	—

Продолжение

Место конденсатора в схеме	Рекомендуемый тип конденсатора	Рабочее напряжение конденсатора, *в*	Допуск, %	Вид конденсатора
Переходной конденсатор между каскадами УНЧ	КСО	250, 500	±20	Любая группа
	БМ, КБ	150—400	±20	—
	КБГ-И, КБГ-М2	400	±20	—
	ПО	300	±20	—
	ПМ	60	±20	—
	КТК, КДК, КДС	250—500	Любой	Зеленый, желтый, оранжевый
То же, в схемах на транзисторах	ЭМ, КЭ	4—15	Любой	—
Цепь экранирующей сетки лампы предварительного каскада УНЧ	БМ, КБГ-И,	200, 400	±20	—
	КБГ-М1 МБМ, МБГЦ, МБГП	100—400	±20	—
То же, оконечного каскада УНЧ	КЭ, КЭГ	150—300	+50 —20	—
	МБГП, МБГО	160—400	±20	—
Конденсатор, шунтирующий резистор автоматического смещения каскада предварительного УНЧ	КЭ, КЭГ, ЭМ, ЭТО	4—8	+50 —20	—
То же, оконечного каскада УНЧ	КЭ, КЭГ, ЭМ, ЭТО	8—20	+50 —20	—
Сглаживающий фильтр выпрямителя питания	КЭ, КЭГ	300—450	+50 —20	—
	МБГО, МБГП	250—600	±20	—
Помехозащитный конденсатор в цепи первичной обмотки силового трансформатора	КБГ-И, КБГ-М1	400	±20	—
	БГМ, КБ	400	±20	—

Стеклоэмалевые конденсаторы типа КС, маркированные буквой О, при изменении температуры изменяют емкость незначительно. Емкость конденсаторов, маркированных буквой Р, при повышении температуры увеличивается, а емкость конденсаторов, маркированных буквами М и П, при повышении температуры уменьшается; при этом больше всего влияет температура на емкость конденсаторов, маркированных буквой П.

Слюдяные конденсаторы КСО по устройству обкладок разделяются на два вида: с обкладками из фольги и с обкладками из серебра, нанесенного непосредственно на поверхность слюды. Конденсаторы второй конструкции имеют на корпусе буквы Б, В или Г. Из конденсаторов с серебряными обкладками наименее подвержена изменениям при колебаниях температуры емкость конденсаторов группы Г. Емкость конденсаторов с обкладками из фольги (они не имеют на корпусах буквенной маркировки) наименее стабильна как при изменениях температуры, так и во времени.

Бумажные конденсаторы типов КБ (бумажный), БМ (малогабаритный), БГМ (бумажный герметический малогабаритный), КБГ-М (то же в металлическом корпусе), КБГ-И (то же в корпусе из изоляционного материала) имеют обкладки из алюминиевой ленты, а диэлектриком служит специальная бумажная лента.

Металлобумажные конденсаторы МБМ (малогабаритные), МБГЦ (герметические цилиндрические), МБГП (герметические в прямоугольном корпусе) и МБГО (герметические с однослойным диэлектриком) выгодно отличаются от бумажных конденсаторов меньшими размерами, а также способностью самовосстанавливаться в случае электрического пробоя диэлектрика.

Конденсаторы пленочные ПО, ПОВ, ПМ-1 и ПМ-2 в качестве диэлектрика используют полистироловую пленку.

Электролитические конденсаторы КЭ-1 и КЭ-2 имеют корпуса в виде алюминиевых цилиндров с крышками из изоляционного материала. Выводной лепесток положительного полюса расположен на этой крышке. Минус включается на корпус конденсатора. К днищам некоторых конденсаторов КЭ-1 приварены овальные или прямоугольные фланцы для крепления конденсаторов к шасси. Конденсаторы КЭ-2 снабжены пластмассовыми втулками с резьбой и гайками для их крепления. Конденсаторы КЭГ-1 и КЭГ-2 (герметизированные) имеют герметически запаянные прямоугольные корпуса. Вывод положительного полюса выведен к контактному лепестку, укрепленному на стеклянном изоляторе. Конденсаторы ЭМ (малогабаритные) предназначены для применения в аппаратуре с полупроводниковыми приборами (транзисторами). Они выполнены в виде маленьких гильз с проволочными контактными выводами. Конденсаторы ЭТО (танталовые с объемными положительными электродами) имеют грибовидные корпуса, наполненные жидким кислотным электролитом. Вывод от положительного электрода выполнен в виде контактного лепестка, изолированного от корпуса. Отрицательным выводом служит корпус, к которому приварен луженый проводник.

НА ПОРОГЕ НАЛАЖИВАНИЯ

Нам остается рассмотреть, пожалуй, самый важный этап конструирования супергетеродинного приемника — его налаживание. Теперь вы должны на практике проверить все то, о чем мы говорили в предыдущих главах, и заставить ваш приемник работать с такими

характеристиками и параметрами, на которые была рассчитана принципиальная схема. Для этого нужны не только знания принципов работы отдельных блоков приемника, но и соответствующие инструменты — измерительные приборы, позволяющие анализировать работу приемника. Ведь налаживание без измерений — это поиски вслепую, когда можно только случайно наткнуться на неисправность. Только с помощью измерительных приборов можно представить себе, в каком состоянии находится налаживаемый радиоприемник, на какие частоты настроены его контуры, выяснить, достаточное ли питание подается на лампы и транзисторы, в каком режиме они работают.

Какие же приборы нужны для налаживания супергетеродина?

В первую очередь необходим авометр — прибор, позволяющий измерить ток и напряжение, причем он должен измерять и напряжение звуковых частот до 10—20 кгц. Авометр можно купить или сделать самому. Конструкции простых авометров неоднократно описывались в журнале «Радио».

Очень нужен для налаживания супергетеродинного приемника генератор стандартных сигналов — высокочастотный генератор, частоту которого можно перестраивать от 100 кгц до 12—25 Мгц, определяя ее по шкале генератора, Кроме того, высокочастотный сигнал можно модулировать звуковой частотой от специального звукового генератора, который входит в состав генератора стандартных сигналов. Генератор стандартных сигналов можно сделать самостоятельно, и это не сложнее, чем построить приемник. Например, хороший и вполне доступный для самостоятельного изготовления генератор описан в журнале «Радио», № 2 за 1965 г.

Весьма желательно иметь в лаборатории радиолюбителя и высокочастотный ламповый вольтметр, который тоже можно сделать самостоятельно. Вообще, чем больше измерительных приборов в распоряжении радиолюбителя, тем интереснее работа, тем глубже можно анализировать работу данного приемника, полнее использовать возможности его схемы. Начав работать с измерительными приборами, вы скоро почувствуете их полезность и не пожалеете о времени и средствах, затраченных на их изготовление.

Налаживание приемника начинают с того, что создают ему нормальные условия работы в целом: получают от блока питания необходимые напряжения и токи, а также подбирают нормальные режимы работы ламп и транзисторов. Затем, обратите на это внимание, налаживают усилитель низкой частоты и далее все блоки приемника в таком порядке: сначала детектор, потом усилитель промежуточной частоты, преобразователь, усилитель высокой частоты и входное устройство. Не начинайте налаживания приемника наоборот, со входа, например с усилителя высокой частоты, так как если при этом не работает усилитель низкой частоты, то прием будет отсутствовать, несмотря на все попытки «наладить» усилитель высокой частоты. Не надо также переходить к налаживанию последующего блока до тех пор, пока не будет хорошо настроен предыдущий.

Однако прежде чем начать рассказ о налаживании супергетеродинного приемника, надо помнить о необходимости соблюдать правила безопасности при обращении с электронной аппаратурой (приемником или измерительным прибором), особенно если в этой аппаратуре имеются цепи с напряжением, достигающим сотен вольт.

Первое, что надо твердо запомнить, — нельзя производить в схеме включенного приемника или измерительного прибора какой-либо

замены деталей, переключения проводов или паек. Это очень опасно, так как можно попасть под анодное напряжение и получить сильный удар или ожог. Особенно опасно, если одновременно дотронуться до схемы приемника и до батареи центрального отопления или других цепей заземления. В таком случае даже напряжение в 100—200 *в* может оказаться смертельным или нанести серьезную травму.

Однако и после выключения приемника нельзя сразу касаться его анодных цепей, так как электрические конденсаторы фильтра выпрямителя могут долго сохранять значительный заряд. Поэтому надо предварительно разрядить эти конденсаторы, замкнув отверткой с хорошо изолированной ручкой конденсаторы фильтра. Помните, что при работе с цепями блока питания надо вынуть вилку из розетки сети переменного тока, иначе можно попасть под напряжение сети.

Следите, чтобы ваш инструмент имел изолированные ручки: у отверток пластмассовые или текстолитовые, у кусачек, пинцетов, плоскогубцев и другого подобного инструмента ручки надо обернуть изоляционной лентой или надеть на них резиновые или полихлорвиниловые трубочки. Внимательно проверяйте также изоляцию проводов высоковольтных цепей и цепей питания.

Но все же иногда приходится работать и при включенном приемнике, например измерять напряжение, настраивать колебательные контуры и т. п. В этом случае надо работать только одной рукой. Другую в это время уберите за спину или прижмите к телу, но не опирайтесь ею на стол, на котором может оказаться оголенный проводник, соединенный с шасси приемника. При этом проверьте, хорошо ли изолирован щуп прибора и соединительные провода. Настраивать контуры надо изоляционной отверткой.

При отпайке деталей выводы их иногда застревают в отверстии контактного лепестка или цепляются за провода. Остерегайтесь в таких случаях резко дергать деталь или проводник, так как от рывка капли расплавленного припоя могут попасть в глаза или на лицо.

Итак, приступаем к налаживанию. Перед первым включением надо тщательно проверить правильность собранной схемы приемника, с помощью омметра убедиться, что в анодных и других высоковольтных цепях нет коротких замыканий. Вместо омметра можно применить пробник — стрелочный вольтметр с батарейкой. Если схема в порядке, включают приемник и измеряют напряжение блока питания (или батарей) под нагрузкой. Если оно много меньше нормального, то надо проверить резисторы в схеме фильтра выпрямителя, а также исправность электролитических конденсаторов (ток утечки этих конденсаторов). Следует также проверить исправность кенотрона или полупроводниковых выпрямителей. Пониженное напряжение на выходе выпрямителя может быть в результате замыкания обмоток трансформатора питания. Обнаружить такое замыкание можно по сильному нагреву трансформатора.

При питании приемника от батарей их напряжение под нагрузкой должно отличаться от номинального не более чем на 10—12%. Кроме того, напряжение батареи не должно изменяться в процессе работы приемника. Падение напряжения или резкие его изменения свидетельствуют о разряде батареи или ненадежных контактах в ней.

Далее переходят к подбору режимов ламп или транзисторов, причем начинают с выходной лампы (или транзистора) усилителя низкой частоты, так как она потребляет большой ток и поэтому силь-

но влияет на величину выходного напряжения выпрямителя, а следовательно, и на режимы остальных ламп и транзисторов приемника.

Напряжение на электродах ламп зависит от сопротивления резисторов, включенных в цепи этих электродов. Изменяя сопротивление, можно изменять и напряжение на электроде. Подгонку режима ламп надо начинать с измерения напряжения смещения на управляющей сетке, от величины которого зависят ток, идущий через лампу, а следовательно, и напряжение на аноде. Подгонку напряжения смещения производят изменением сопротивления резистора $R_к$, включенного в катодную цепь, или соответствующего резистора $R_{см}$ в цепочке резисторов, включенных в минусовую цепь выпрямителя

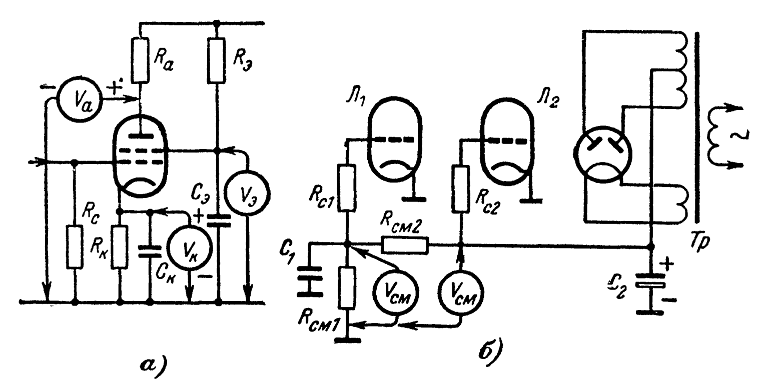


Рис. 55. Схемы измерения напряжения на электродах ламп.

а — схема автоматического смещения; *б* — схема получения напряжения смещения с делителя, включенного в минусовую цепь выпрямителя.

(рис. 55). В последнем случае подгонку напряжения смещения надо начинать с той лампы, сопротивление смещения которой присоединено к «земле» (с лампы $Л_1$ на рис. 55, *б*), так как если начать с лампы $Л_2$, подобрав сопротивление резистора $R_{см2}$, а затем перейти к подбору сопротивления резистора $R_{см1}$, то при этом изменится напряжение на управляющей сетке лампы $Л_2$

Когда установлено напряжение смещения примерно нужной величины, приступают к подгонке напряжения на экранирующей сетке. Подбор напряжения на ней производят изменением сопротивления резистора $R_э$. Для измерения напряжения на экранирующей сетке нужно обязательно применять высокоомный вольтметр, иначе его показания будут сильно занижены. Наконец, приступают к подгонке напряжения на аноде лампы. Это производят изменением сопротивления резистора $R_а$. Подобрав напряжения на аноде и экранирующей сетке лампы, следует вновь проверить напряжение смещения на управляющей сетке, и, если оно значительно изменилось, заново произвести подгонку режима.

На практике обычно измеряют напряжения на электродах ламп относительно «земли», т. е. относительно минуса источника питания. В справочниках же напряжения на электродах указываются относи-

тельно катода лампы. Поэтому, если лампа включена по схеме с автоматической подачей напряжения смещения на управляющую сетку (рис. 55, *а*), напряжение смещения складывается с измеряемым напряжением на электроде лампы. Это необходимо учитывать при подгонке режима оконечной лампы усилителя низкой частоты, у которой напряжение смещения обычно велико, около 10—30 *в*.

При измерении напряжений и токов на электродах ламп (транзисторов) надо иметь в виду, что в цепях этих электродов, кроме

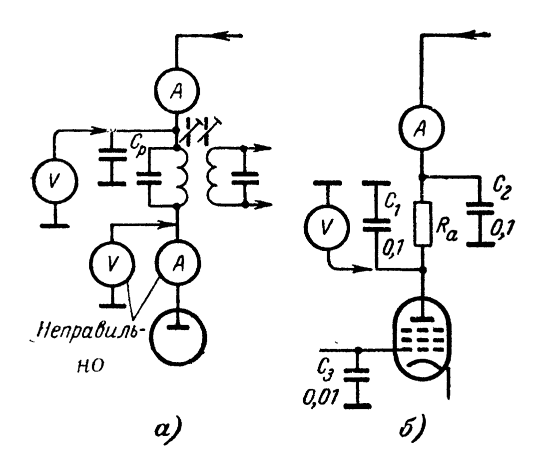


Рис 56. Включение измерительных приборов.

а — включение приборов при наличии развязывающего конденсатора; *б* — при отсутствии развязывающего конденсатора.

постоянной составляющей, присутствует и переменная составляющая. Если применена схема, показанная на рис. 56, *а*, то через амперметр, включенный между анодом лампы и контуром фильтра промежуточной частоты (а также через вольтметр, подключенный к аноду лампы), проходят переменная и постоянная составляющие анодного тока. При измерениях эти составляющие должны быть обязательно разделены, т. е. прибор следует включить так, чтобы через него проходила только постоянная или только переменная составляющая. Например, через прибор, включенный между развязывающим конденсатором $C_р$ и положительным полюсом источника анодного напряжения (рис. 56, *а*), проходит только постоянная составляющая анодного тока, так как переменная составляющая через развязывающий конденсатор замыкается на корпус. Таким образом, прибор, предназначенный для измерения постоянной составляющей, следует включать в цепь после развязывающего конденсатора. Если в схеме нет этого конденсатора, то прибор надо шунтировать конденсатором емкостью около 0,1 *мкф*, как это показано на рис. 56, *б*.

Разделение составляющих необходимо потому, что из-за паразитных емкостей прибора и соединительных проводов переменная со-

ставляющая тока анодной цепи воздействует на сеточную цепь лампы. Может возникнуть самовозбуждение каскада, что приведет в свою очередь к изменению анодного тока лампы, в том числе и его постоянной составляющей, измеряемой прибором. Поэтому включение шунтирующего конденсатора для разделения составляющих совершенно необходимо. Однако может оказаться, что для предотвращения самовозбуждения этого недостаточно, тогда между корпусом и управляющей сеткой лампы надо включить конденсатор емкостью около 0,01 *мкф*. Обнаружить самовозбуждение можно по изменению показаний прибора при изменении положения соединительных проводов.

Я уже говорил, что внутреннее сопротивление вольтметра, предназначенного для измерения режима ламп, должно быть как можно больше, чтобы оно меньше шунтировало цепь, в которой проводятся измерения. Поэтому, во-первых, надо пользоваться вольтметром с входным сопротивлением 5 000—10 000 *ом/в*, во-вторых, правильно выбирать место подключения прибора. Например, надо измерить напряжение смещения на сетке лампы (рис. 57). Если включить вольтметр непосредственно между сеткой и катодом лампы, то он шунтирует резисторы R_c и $R_{см}$. Сопротивление резистора утечки сетки R_c обычно очень велико — не менее 1 *Мом*, поэтому внутреннее сопротивление даже чувствительного магнитоэлектрического авометра составит на шкале 5—10 *в* в лучшем случае половину общего сопротивления участка цепи между точками подключения вольтметра. Ошибка измерения при таком включении вольтметра будет очень велика, поэтому правильнее применить при таком включении ламповый вольтметр постоянного тока, входное сопротивление которого составляет десятки мегом.

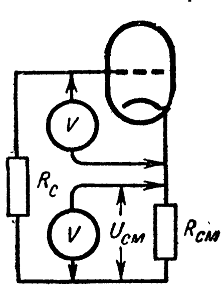


Рис. 57. Включение приборов для измерения напряжения смещения на управляющей сетке лампы.

Однако измерить напряжение смещения можно не только непосредственно на сетке, но и на резисторе $R_{см}$, на котором создается это напряжение. Сопротивление резистора $R_{см}$ редко превышает 1 *ком*, поэтому достаточно точно измерить напряжение на нем можно даже низкоомным вольтметром с сопротивлением не более 1 *ком/в*.

Подбор режимов транзисторов имеет некоторые особенности. Независимо от назначения каскада, в котором работает транзистор (усилитель звуковой или высокой частоты, генератор и т. п.), в схеме каскада всегда можно выделить основные цепи, определяющие режим транзистора по постоянному току (рис. 58). Наиболее простой способ установления рабочей точки транзистора представлен на рис. 58, *а*. Режим транзистора определяется резисторами R_1 и R_2. Резистор R_1 служит нагрузкой, а R_2 — сопротивлением цепи базового смещения. Как и в ламповой схеме, сопротивление нагрузки определяет коэффициент усиления каскада, а от величины смещения зависит положение рабочей точки на характеристике.

В схеме на рис. 58, *а* величина напряжения смещения весьма нестабильна, так как она зависит от тока базы транзистора, который

в свою очередь зависит от коэффициента усиления транзистора по току, имеющего, как правило, значительный разброс и свойство изменяться при изменении окружающей температуры. Поэтому в этой схеме необходима тщательная подборка сопротивления резистора R_2. Заметим, что разброс коэффициента усиления у различных транзисторов может быть в десятки раз, поэтому приемник, выполненный в полном соответствии с описанием и принципиальной схемой, может не работать, если не подобрано напряжение смещения.

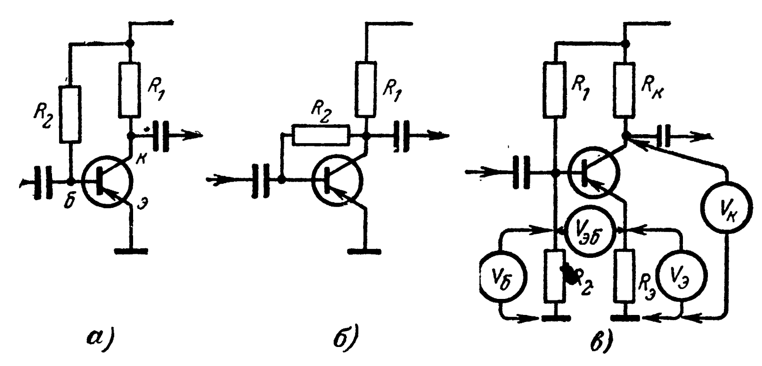


Рис. 58. Различные способы стабилизации рабочей точки и схема измерения напряжений на электродах транзистора.

Чтобы схема хорошо работала без подбора напряжения смещения при замене транзисторов и изменении окружающей температуры прибегают к стабилизации положения рабочей точки. Простейшим видом такой стабилизации является подключение резистора в цепи базового смещения непосредственно к коллектору транзистора (рис. 58, *б*). Возникающая при этом обратная связь по постоянному току препятствует изменению положения рабочей точки на характеристике как при замене транзисторов, так и при изменении температуры окружающей среды. Качество стабилизации тем лучше, чем меньше отношение сопротивлений резисторов R_2 и R_1. Однако уменьшению этого отношения есть предел. Например, в оконечном каскаде усилителя низкой частоты вместо резистора $R_к$ обычно включен трансформатор с малым активным сопротивлением обмотки. В таких случаях следует применять схему подачи смещения на базу, показанную на рис. 58, *в*. В этой схеме в базовой цепи включен сравнительно низкоомный делитель.

В наиболее распространенных схемах у транзисторов высокочастотных каскадов ток коллектора обычно составляет 0,5—1,5 *ма*, низкочастотных 0,1—10 *ма*. При этом напряжения смещения в цепях баз находятся в пределах 0,12—0,3 *в* для германиевых и 0,6—0,8 *в* для кремниевых транзисторов (под напряжением смешения понимают напряжение между базой и эмиттером транзистора).

Несколько слов об измерении напряжений на электродах транзисторов. При измерении напряжения между базой и эмиттером в схеме, показанной на рис. 58, *в*, надо иметь в виду, что при малом коллекторном токе ток базы также мал, поэтому сопротивление участка база — эмиттер не менее 10 *ком*. Это соизмеримо с входным

сопротивлением хорошего высокоомного вольтметра на шкале 1—3 *в*. Следовательно, напряжение $U_{б.э}$ можно измерять только ламповым вольтметром постоянного тока, обладающего очень большим входным сопротивлением. Это же относится и к измерению напряжения $U_б$, так как сопротивления резисторов R_1 и R_2 из соображений экономии питания обычно выбирают значительными.

Напряжение на коллекторе транзистора при небольшом сопротивлении нагрузки $R_к$ (не более 5 *ком*) можно измерять магнитоэлектрическим вольтметром с внутренним сопротивлением 10 *ком/в*. Если же сопротивление нагрузки имеет значительную величину, то необходимо пользоваться ламповым вольтметром. Однако напряжение $U_к$ в этом случае можно измерить косвенным путем с помощью обычного вольтметра. Для этого вначале надо определить ток через транзистор

$$I = \frac{U_э}{R_э},$$

где $U_э$ — напряжение на резисторе $R_э$, измеренное вольтметром с внутренним сопротивлением 3—5 *ком/в*.

Напряжение $U_к$ в этом случае подсчитывают по формуле

$$U_к = E_к - IR_к.$$

Когда режимы ламп и транзисторов подобраны, можно приступать к налаживанию приемника. Однако такое разделение процессов на подбор режимов и собственно налаживание — условно. По существу подбор режимов ламп и транзисторов уже и есть налаживание. На практике редко случается, что после сборки приемника приходится лишь подбирать режим. Обычно при подборе режима одновременно приходится выявлять и устранять различные неисправности каскада, без чего невозможно подобрать режим. Например, обрыв в анодной цепи приведет к отсутствию напряжения на аноде лампы. Поэтому, чтобы подобрать анодное напряжение лампы, надо найти и устранить эту неисправность.

НАЧНЕМ С УСИЛИТЕЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Итак, приступаем к налаживанию. Сначала, как уже было сказано, налаживают усилитель низкой частоты. Затем переходят к налаживанию детектора. Все неполадки в схеме диодного детектора происходят из-за неправильного монтажа или пришедшей в негодность лампы, а также неисправного полупроводникового диода. Проверить работу диодного детектора можно при помощи генератора стандартных сигналов. Для этого генератор настраивают на промежуточную частоту приемника, включают модуляцию и через конденсатор емкостью 200 пф подают напряжение на последний контур промежуточной частоты, подключенный к детектору. При нормальной работе детектора в громкоговорителе будет слышен тон модуляции. Выходное напряжение генератора при этом должно быть порядка 1 в. Затем переходят к налаживанию усилителя промежуточной частоты (рис. 59).

Прежде всего усилитель проверяют на самовозбуждение. Для этого на выход усилителя низкой частоты приемника включают вольтметр переменного тока со шкалой 1—3 *в*, регулятор громкости

устанавливают на максимум и наблюдают за положением стрелки. Если усилитель промежуточной частоты самовозбуждается, то стрелка колеблется при поднесении руки к схеме усилителя, замыкании управляющих сеток ламп на корпус и т. п. Колебания стрелки могут сопровождаться свистами меняющегося тона (при подключении антенны к управляющей сетке смесительной лампы преобразователя) или сильным шипением. Конечно, при такой проверке должна быть

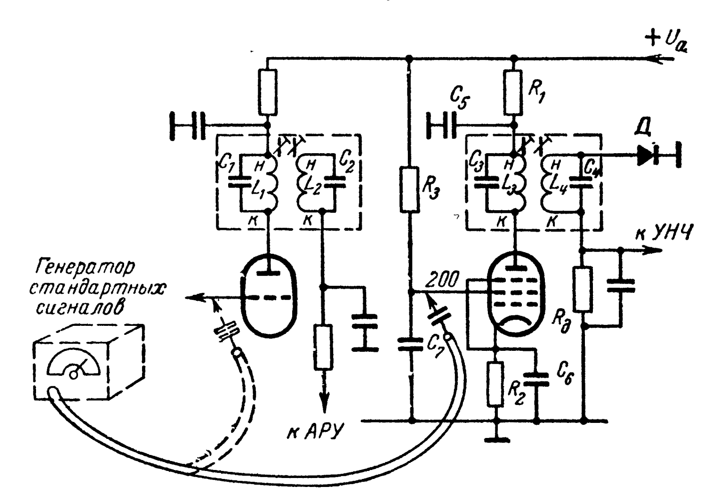


Рис 59. К налаживанию усилителя промежуточной частоты.

полная уверенность в нормальной работе усилителя низкой частоты. Чтобы убедиться, что самовозбуждается именно усилитель промежуточной частоты, надо отключить от него детектор — колебания стрелки при этом должны прекратиться.

Другим индикатором наличия самовозбуждения усилителя промежуточной частоты может служить миллиамперметр, включенный между сопротивлением анодной нагрузки лампы этого усилителя и плюсом анодного питания. Миллиамперметр надо шунтировать на «землю» конденсатором емкостью 0,1 *мкф*, включив его между шасси и выводом миллиамперметра, присоединенным к сопротивлению нагрузки. Признаком самовозбуждения усилителя будет изменение показаний миллиамперметра при замыкании накоротко контура промежуточной частоты в цепи управляющей сетки лампы усилителя. Если усилитель многокаскадный, то эту операцию надо произвести последовательно в каждом каскаде. В транзисторном радиоприемнике индикатором наличия самовозбуждения усилителя промежуточной частоты может служить милливольтметр, подключенный параллельно выходу этого усилителя: при отсутствии самовозбуждения выходное напряжение усилителя будет в пределах 2—5 *мв*, а при наличии самовозбуждения — много больше, и стрелка прибора будет колебаться.

Паразитная генерация усилителя выражается в свистах при перестройке приемника, сильном шипении и т. п. В основном меры

борьбы с самовозбуждением сводятся к такому изменению монтажа, при котором будут устранены паразитные связи между цепями. Для этого надо разнести подальше друг от друга проводники различных цепей, в особенности анодной и сеточной, и сделать их минимальной длины. Фильтры промежуточной частоты должны быть заключены в хорошо «заземленные» экраны. Кроме того, надо попробовать увеличить емкости конденсаторов развязывающих фильтров, сменить лампу усилителя или транзисторы, поменять местами концы обмоток контуров промежуточной частоты, уменьшить напряжение на экранирующей сетке лампы усилителя. Наконец, можно попробовать несколько увеличить отрицательное смещение на управляющей сетке лампы. Однако это — крайнее средство, так как хотя самовозбуждение при этом почти наверняка исчезнет, но уменьшится и усиление по промежуточной частоте.

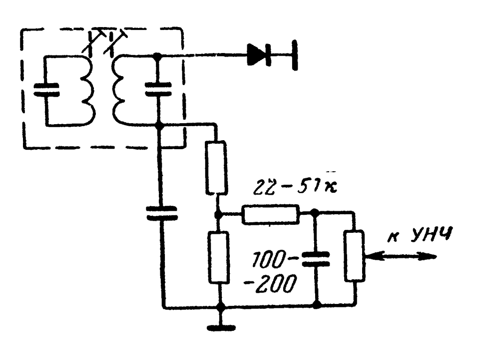


Рис. 60. Схема, позволяющая устранить проникновение напряжения промежуточной частоты в усилитель низкой частоты.

Выявить цепь, «виновную» в возникновении самовозбуждения, можно, прикоснувшись к этой цепи: при этом показания индикатора должны измениться. Кроме того, рекомендуется палочкой из изоляционного материала слегка изменять, положение сеточных и анодных цепей, отодвигая их друг от друга и т. п., наблюдая при этом за показаниями индикатора. Если показания изменяются, это служит признаком, что данная деталь или провод участвуют в цепи паразитной связи, способствующей возникновению самовозбуждения.

В возникновении самовозбуждения может играть роль обратная связь через источник анодного питания. Для устранения этой связи в анодную цепь УПЧ включают фильтр, состоящий из резистора 2—5 *ком* и конденсатора до 0,1 *мкф*. Если усилитель многокаскадный, то такие фильтры необходимо включать в анодные цепи всех каскадов. Если это не дает желаемого результата, то для устранения самовозбуждения в сеточную или анодную цепь лампы следует включить антипаразитные резисторы сопротивлением 100—500 *ом* и 0,5—2,5 *ком* соответственно. Наконец, можно в цепь катода лампы включить резистор сопротивлением 20—70 *ом* и не шунтировать его емкостью. Возникающая при этом отрицательная обратная связь уменьшает усиление каскада и увеличивает устойчивость его работы.

Иногда самовозбуждение возникает только при максимальном усилении низкочастотного усилителя. Это говорит о недостаточности фильтрации напряжения промежуточной частоты в детекторе, т. е. напряжение этой частоты проходит в первый каскад низкочастотного усилителя. В этом случае на выходе детектора надо включить фильтр (рис. 60), а анод лампы первого каскада усилителя низкой частоты шунтировать на «землю» конденсатором емкостью 200—2 000 *пф*.

В некоторых случаях самовозбуждение возникает только при работе приемника на частотах, близких к промежуточной частоте — на высшей частоте длинноволнового и на низшей частоте средневолнового диапазонов. Это означает, что частоты входных контуров или контуров усилителя высокой частоты близки к резонансной частоте контура в анодной цепи преобразовательной лампы, в результате чего возникает положительная обратная связь через межэлектродную емкость преобразовательной лампы или через емкость монтажа. Устранить такую связь трудно: для этого приходится разносить на возможно большее расстояние детали входных контуров или контуров усилителя высокой частоты от контуров промежуточной частоты. Можно также рекомендовать включение в цепь управляющей сетки лампы преобразователя фильтра-пробки, настроенного на промежуточную частоту. Но можно включить контур параллельно входу преобразователя (рис. 61).

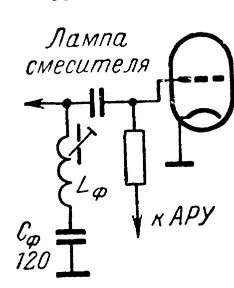


Рис. 61. Фильтр на 465 *кгц*, включенный в сеточную цепь лампы смесителя.

Когда усилитель будет работать без самовозбуждения, можно начинать его настройку. Перед началом настройки каскадов промежуточной частоты целесообразно прекратить работу гетеродина приемника. Для этого достаточно шунтировать контур гетеродина конденсатором большой емкости. Можно также настроить приемник на минимальную частоту длинноволнового диапазона — «подальше» от промежуточной частоты.

При амплитудной модуляции спектр сигнала радиостанции занимает полосу частот, равную $2F_в$, где $F_в$ — высшая частота модуляции. Приемник должен принимать сигналы в пределах этой полосы частот, иначе высшие частоты модулирующего сигнала срезаются, и передача будет искажена. Таким образом, полоса пропускания усилителя высокой частоты, полоса пропускания усилителя промежуточной частоты и полоса пропускания усилителя низкой частоты должны быть больше или равны ширине спектра частот принимаемого сигнала.

Однако от ширины полосы пропускания усилителя промежуточной частоты зависит избирательность приемника по соседнему каналу, причем чем у́же полоса пропускания, тем лучше избирательность. Таким образом, настройка усилителя промежуточной частоты заключается не только в настройке его контуров на промежуточную частоту, но также в получении необходимой полосы пропускания, что зависит от формы резонансной кривой этого усилителя.

Настройку усилителя начинают с последнего каскада. Выход генератора стандартных сигналов через конденсатор емкостью 200 *пф* подключают к управляющей сетке лампы последнего каскада. Если на выходе усилителя включен трансформатор промежуточной частоты, то контур в анодной цепи лампы шунтируют резистором сопротивлением 30—50 *ком*, чтобы исключить его влияние.

Если связь между контурами трансформатора промежуточной частоты меньше критической, то общая резонансная кривая будет одногорбой, и настройку можно вести по максимуму выходного напряжения. При связи между контурами больше критической резо-

нансная кривая становится двугорбой с провалом на резонансной частоте; такой трансформатор промежуточной частоты нельзя настраивать по максимуму выходного напряжения. В этом случае при настройке одного из контуров другой контур трансформатора шунтируют резистором сопротивлением 30—50 *ком*. В результате резонансные свойства этого контура притупляются, и двугорбая резонансная кривая превращается в одногорбую, что позволяет настраивать трансформатор по максимуму выходного напряжения.

Вообще, если величина связи заранее неизвестна, трансформаторы промежуточной частоты лучше настраивать с шунтированием контуров.

Настройку контура производят следующим образом. Генератор стандартных сигналов, подключенный, как было сказано выше, к управляющейся сетке лампы последнего каскада усилителя и работающий с внутренней модуляцией, настраивают на промежуточную частоту. Настройку контура заканчивают, когда в громкоговорителе приемника будет услышан тон модуляции генератора, или когда стрелка вольтметра переменного тока на выходе усилителя низкой частоты даст хорошо заметные отклонения (регулятор громкости при этом должен находиться в положении максимальной громкости). В качестве указателя настройки[1] может также служить вольтметр постоянного тока, включенный параллельно нагрузке детектора; в этом случае частота генератора стандартных сигналов может быть не модулирована.

Если полоса пропускания усилителя промежуточной частоты переменная, то настройку надо вести при узкой полосе. Автоматическую регулировку усиления (АРУ) следует отключить, так как она, притупляя настройку, затрудняет определение резонанса. Для этого замыкают конденсаторы в цепи АРУ, но если АРУ с задержкой, то этого можно не делать, а вести настройку при малом уровне сигнала, при котором действие АРУ еще не сказывается.

Трансформаторы промежуточной частоты обычно настраиваются высокочастотными магнитными сердечниками. Вращая сердечник катушки контура L_4C_4 (см. рис. 59), следят за показаниями индикатора. Если, например, ввертывание сердечника вызывает уменьшение громкости, то сердечник надо вращать в другую сторону. Правильная настройка контура будет в том случае, когда вращение сердечника в обе стороны от некоторого положения будет вызывать уменьшение показаний индикатора (или уменьшение громкости тона модуляции).

В процессе настройки можно столкнуться с таким явлением, когда громкость тона модуляции будет продолжать увеличиваться до полного вывертывания сердечника. Это означает, что велика индуктивность катушки L_4. В этом случае надо уменьшить емкость конденсатора C_4, но не более чем на 10—20 *пф*, так как от емкости этого конденсатора во многом зависит устойчивость работы усилителя. Поэтому если незначительное уменьшение емкости конденсатора не позволило настроить контур на промежуточную частоту, то надо снять некоторое количество витков катушки. И наоборот, если громкость тона модуляции продолжает увеличиваться до полного ввертывания сердечника, то надо либо увеличить емкость конденсатора C_4, либо добавить витки в катушке L_4.

---

[1] Не следует путать **указатель настройки** с электронным индикатором настройки приемника, описанным на стр. 80.

При сильной расстройке контура или при коротком замыкании витков в катушке уровень сигнала на выходе приемника не зависит от регулировки сердечника. В этом случае все контуры промежуточной частоты шунтируют резисторами 30—50 *ком*, оставляя незашунтированным только проверяемый контур, и, изменяя частоту генератора стандартных сигналов, находят по индикатору выхода резонансную частоту контура. Если она окажется выше промежуточной, то увеличивают число витков катушки, и наоборот. Если резонанс будет выражен очень слабо, то это свидетельствует о замыкании витков катушки; такую катушку надо обязательно заменить.

После настройки детекторный контур шунтируют резистором, отключают шунт от контура в цепи анода и по максимальному показанию индикатора настраивают анодный контур на промежуточную частоту. Затем таким же способом настраивают контуры остальных каскадов усилителя промежуточной частоты. Последним настраивают контур в анодной цепи лампы смесителя. При этом напряжение генератора стандартных сигналов через конденсатор емкостью 200 *пф* подают на управляющую сетку смесительной лампы.

Как уже говорилось, в современных радиовещательных и связных приемниках для обеспечения хорошей избирательности по соседнему каналу и заданной полосы пропускания применяют фильтры сосредоточенной селекции (ФСС). Форма вершины характеристики этих фильтров зависит от количества применяемых контуров (количество пиков на характеристике равно числу контуров).

Настройка фильтра должна производиться таким образом, чтобы частота среднего пика (при нечетном числе контуров) или средней впадины (при четном числе контуров) соответствовала определенной величине $f_н$, которая равна резонансной частоте первого контура при параллельном подключении к нему конденсатора связи. Частота $f_н$ может быть определена по формуле

$$f_н = f_1 f_2 \sqrt{\frac{2}{f_1^2 + f_2^2}}$$

(величины f_1 и f_2 указаны на рис. 48).

Для настройки фильтра на вход каскада, в котором включен фильтр, подают сигнал с частотой $f_н$ от высокочастотного генератора. Параллельно первому контуру через конденсатор с емкостью, не превышающей 5% от емкости контурного конденсатора, подключают ламповый вольтметр. Шунтирующие резисторы, если они имеются, отключают. Далее замыкают накоротко перемычкой второй контур и настраивают первый по максимуму показаний вольтметра. Затем замыкают накоротко третий контур, удаляют перемычку со второго и настраивают его по минимуму показаний вольтметра. После этого замыкают накоротко четвертый контур, удаляют перемычку с третьего и настраивают его по максимуму показаний вольтметра и т. д. Каждый нечетный контур настраивается по максимуму, а четный — по минимуму показаний вольтметра. При настройке последнего контура перемычкой не пользуются.

Итак, фильтры усилителя промежуточной частоты настроены. Теперь можно снять общую резонансную характеристику усилителя промежуточной частоты. Она позволит определить избирательность усилителя на частоте расстройки ±10 *кгц* от номинальной промежу-

точной частоты, а значит — избирательность приемника по соседнему каналу и полосу пропускания. АРУ приемника при снятии резонансной характеристики должна быть выключена.

Резонансную характеристику усилителя промежуточной частоты снимают следующим образом. Генератор стандартных сигналов подключают ко входу смесителя и устанавливают на его шкале номинальную промежуточную частоту, на которую фильтры настраивались в процессе налаживания (по максимальным показаниям указателя настройки, включенного, как и ранее, на выходе приемника или на нагрузке детектора). Когда это сделано, выходное напряжение генератора устанавливают такой величины, чтобы усилитель не перегружался. Определить, не перегружается ли усилитель, можно таким способом: надо попробовать увеличить выходное напряжение генератора. Если при этом стрелка указателя настройки отметит большее выходное напряжение, то усилитель не перегружен; если увеличение выходного напряжения генератора стандартных сигналов не вызовет увеличения показаний указателя настройки, это означает, что выходное напряжение генератора слишком велико и его надо уменьшить до такого значения, при котором стрелка указателя настройки реагирует на изменение этого напряжения.

Снятие резонансной характеристики усилителя начинают с того, что записывают показания указателя настройки при частоте генератора стандартных сигналов, равной номинальной промежуточной частоте. Затем изменяют его частоту на 1—2 *кгц* и записывают новые показания указателя настройки. После этого снова изменяют частоту на 1—2 *кгц* и вновь записывают показания указателя настройки. И так до тех пор, пока указатель настройки будет реагировать на изменение частоты генератора стандартных сигналов. При этом надо следить, чтобы выходное напряжение его оставалось неизменным. Обычно выходное напряжение определяют по вольтметру, имеющемуся на передней панели генератора стандартных сигналов, но если такого вольтметра нет (например, у самодельных генераторов), то с некоторой погрешностью можно принять, что при перестройке генератора в пределах 20—40 *кгц* его выходное напряжение остается неизменным.

Замечу, что часто бывает трудно определить по шкале столь незначительную перестройку генератора (на 1—2 *кгц*), так как на частотах, близких к частоте 465 *кгц*, настройка его уже достаточно острая. У генераторов стандартных сигналов заводского изготовления (например, типа ГСС-6 *) для этой цели имеется специальный нониус. Для пользования нониусом надо предварительно определить цену его делений на данной частоте. Чтобы это сделать, в районе частоты 465 *кгц* выбирают на шкале генератора ближайшие градуированные частоты, например 460 и 480 *кгц*. На одну из этих частот устанавливают визир настройки и замечают, на каком делении находится нониус. Затем переводят визир на другую частоту и подсчитывают, на сколько делений повернулся нониус. Например, при перестройке от частоты 460 до 480 *кгц*, нониус повернулся на 30 делений. Следовательно, цена одного деления нониуса

$$\frac{480-460}{30}=\frac{20}{30}=0{,}666\ \textit{кгц}.$$

---

* По новой системе обозначений измерительных приборов этот генератор имеет название Г4-1А.

Таким образом, чтобы перестроить генератор на 2 *кгц*, надо повернуть нониус на 2/0,666=3 деления.

Вернемся к снятию резонансной характеристики усилителя промежуточной частоты. Когда снята правая часть резонансной характеристики (от частоты 465 *кгц* в сторону более высоких частот), генератор вновь настраивают на номинальную промежуточную частоту (стрелка указателя настройки при этом должна оказаться в прежнем положении) и начинают изменять его частоту через 1—2 *кгц* в сторону более низких частот, одновременно записывая показания указателя настройки.

По полученной таблице зависимости показаний указателя настройки от частоты генератора на миллиметровой бумаге строят резонансную характеристику усилителя. В зависимости от настройки контуров и связи между катушками характеристика может быть одногорбой или двугорбой. Величина связи в фильтрах определяется главным образом расстоянием между катушками: если это расстояние увеличить, то связь уменьшится, и наоборот. Меняя расстояния между катушками, можно добиться требуемой формы частотной характеристики и нужной полосы пропускания. Однако на ширину полосы пропускания влияет также добротность контуров: чем выше добротность, тем у́же полоса. Если необходимо расширить полосу и это не удается достигнуть соответствующей расстройкой контуров, то надо снизить их добротность, шунтировав катушки индуктивности резисторами сопротивлением 30—100 *ком*.

После настройки усилителя и снятия резонансной характеристики надо обратить внимание на ее симметричность. Горбы на характеристике должны располагаться симметрично относительно номинальной (465 *кгц*) промежуточной частоты, а спады — иметь одинаковую крутизну. Ассиметрия характеристики может возникнуть в результате неправильной настройки, неодинаковой добротности контуров, а также паразитных обратных связей, вызывающих самовозбуждение усилителя. В последнем случае необходимо улучшить экранировку усилителя. Контуры усилителя промежуточной частоты должны быть экранированы. В некоторых случаях требуется экранировать лампы усилителя промежуточной частоты. Кроме того, желательно установить экраны между сеточными и анодными лепестками ламповых панелек. Иногда для повышения устойчивости приходится увеличивать емкости контура промежуточной частоты от 500—600 *пф* (при соответствующем уменьшении индуктивности катушки). В трансформаторах промежуточной частоты следует попробовать поменять местами выводы сеточной или анодной катушки. Надо улучшить развязки в цепях питания, т. е. увеличить емкость конденсаторов.

При подключении цепей АРУ резонансные свойства усилителя несколько притупляются, но симметрия характеристики должна сохраниться.

ПЕРЕЙДЕМ К ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЮ И УСИЛИТЕЛЮ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Налаживание и настройка преобразователя и усилителя высокой частоты — это наиболее ответственный и сложный этап. Ведь это прежде всего сопряжение настроек гетеродинных и входных контуров. Поэтому очень рекомендуем еще раз прочесть те главы

книги, в которых рассказывается о сопряжении, выбрать тип сопряжения, рассчитать частоты точного сопряжения $f_н$, $f_{ср}$ и $f_в$. И только после этого переходите к налаживанию и настройке преобразователя и усилителя высокой частоты.

Налаживание преобразователя начинают с гетеродина. В ламповых радиоприемниках применяют схему гетеродина с индуктивной обратной связью (рис. 12) и трехточечную схему (рис. 13). Начнем с первой схемы. Прежде всего надо подобрать режим лампы преобразователя (или гетеродина, если он собран на отдельной лампе) и проверить наличие генерации. В качестве индикатора генерации используют миллиамперметр со шкалой 5—10 *ма,* включив его между сопротивлением анодной нагрузки гетеродина (R_2) и плюсом анодного напряжения. Если гетеродин генерирует, то прикасание металлической отвертки к управляющей сетке гетеродинной части лампы или к конденсатору C_6 приведет к резкому изменению показаний миллиамперметра. При отсутствии генерации надо тщательно проверить правильность монтажа, убедиться в отсутствии обрывов и замыканий в катушках, проверить резисторы и заменить конденсаторы. Особое внимание надо обратить на включение катушки обратной связи: если катушки L_3 и L_4 намотаны в одну сторону, то к управляющей сетке лампы и к аноду гетеродинной части лампы должны подключаться разные концы. Если схема гетеродина собрана правильно (лампа гетеродина заведомо исправна и режим ее нормальный), а генерации все же нет, надо несколько повысить напряжение на аноде гетеродина, т. е. уменьшить сопротивление резистора R_2. Если это не даст результата, надо увеличить обратную связь, приблизив катушку L_4 к L_3, или даже увеличить число витков катушки L_4. Однако это надо делать осторожно, так как сильная обратная связь приводит к увеличению гармоник гетеродина приемника и к появлению дополнительных свистов и ложных настроек.

Когда генерация гетеродина получена, проверяют ее устойчивость в пределах диапазонов. Для этого вращают конденсатор настройки и следят за показаниями миллиамперметра: они должны изменяться плавно и в небольших пределах, нигде не доходя до срыва — резкого изменения показаний. Если срывы существуют, их устраняют незначительным увеличением анодного напряжения гетеродина или очень незначительным увеличением обратной связи. При возникновении на высокочастотных концах диапазонов прерывистой генерации («капания») ее устраняют уменьшением сопротивления резистора R_1 или емкости конденсатора C_6. При слишком резком изменении показаний миллиамперметра, надо уменьшить обратную связь, а также уменьшить сопротивление резистора R_1 и подобрать значение емкости конденсатора C_6.

В гетеродине может возникнуть и паразитная генерация, т. е. колебания на частоте, отличной от основной частоты гетеродина. Признаков такой генерации являются резкие изменения показаний миллиамперметра на небольшом участке диапазона. Чтобы устранить такую генерацию, включают в цепь управляющей сетки лампы гетеродина небольшое проволочное сопротивление, причем подбирают наименьшую его величину, необходимую для срыва паразитной генерации. Во всяком случае величина его не должна быть больше 500—600 *ом,* иначе амплитуда колебаний гетеродина сильно уменьшится. Если потребуется большое сопротивление, то лучше взять

другой экземпляр лампы или перемонтировать блок преобразователя.

В трехточечной схеме гетеродина (рис. 13) для получения устойчивой генерации требуется очень тщательный подбор числа витков отвода катушки контура — величины обратной связи Ориентировочно это число должно составлять 8—10% числа витков, считая от заземленного конца катушки. Окончательно подбирать число витков отвода надо после полной настройки приемника — до получения наибольшего сигнала на выходе приемника.

Проверить исправность гетеродина в транзисторном приемнике сложнее, чем в ламповом, так как амплитуда колебаний транзисторного гетеродина очень невелика. Измерить напряжение генерации можно ламповым вольтметром на эмиттере транзистора смесительного каскада. Высокочастотное напряжение генерации значительно меньше общего напряжения на электроде транзистора и составляет 0,05—0,1 *в* в диапазоне длинных и средних волн. Поэтому если в распоряжении радиолюбителя нет достаточного чувствительного измерительного прибора, то нужно попытаться принять сигнал гетеродина на радиовещательный приемник (судить о приеме немодулированных колебаний гетеродина можно по оптическому индикатору настройки). Если это не удается, то следует предположить, что гетеродин не генерирует, и надо перепробовать все те меры, которые рекомендовались для лампового гетеродина: перемена местами концов катушки обратной связи, увеличение числа витков этой катушки и пр. Заметим, что если гетеродин работает нормально, то его сигнал, принятый на радиовещательный приемник, не должен иметь паразитной модуляции: при расстройке вспомогательного приемника в обе стороны от частоты гетеродина не должны прослушиваться свисты и дополнительные сигналы.

Следует обратить особое внимание на подбор режима транзисторов, работающих в преобразователе.

В преобразователях частоты, работающих с отдельным гетеродином, налаживание его обычно не вызывает особых затруднений. Но надо иметь в виду, что одним из условий нормальной работы гетеродина является степень его нагрузки преобразовательным каскадом, которая регулируется подбором числа витков катушки связи преобразователя с контуром гетеродина и подбором режимов преобразовательного и гетеродинного транзисторов по постоянному току. Например, ток транзисторов T_1 и T_2 (см. рис. 14) выбирают так: 0,5—1 *ма* для транзистора T_2 по наличию устойчивых колебаний во всех диапазонах и 0,3—0,7 *ма* для транзистора T_1 по отсутствию генерации на частотах, близких к промежуточной, и максимальному усилению в режиме преобразования.

Несколько сложнее налаживание преобразователей, работающих на одном транзисторе (см. рис. 62) При отсутствии генерации на высокочастотном конце какого-либо из диапазонов следует несколько увеличить число витков катушки обратной связи с контуром гетеродина в цепи базы транзистора T_1 (рис. 62, *а*) и в цепи коллектора (рис. 62, *б*). В случае возникновения генерации на частотах, близких к промежуточной, надо постепенно уменьшать ток коллектора транзистора преобразовательного каскада до исчезновения самовозбуждения. При прерывистой генерации на низкочастотном конце какого-либо диапазона следует уменьшить число витков катушки обратной связи с контуром гетеродина. Если указанные меры окажутся недостаточными, можно последовательно с катушкой связи в цепь эмиттера включить резистор сопротивлением 20—

50 *ом*. Заметим также, что надо правильно включить катушку связи с входным контуром: при намотке катушки связи в одном направлении с катушкой входного контура они должны быть включены так, как указано в схеме на рис. 62.

Низкое качество фильтра в цепи питания преобразователя на коротковолновом диапазоне может привести к генерации за счет вибрации деталей и ламп под воздействием акустических колеба-

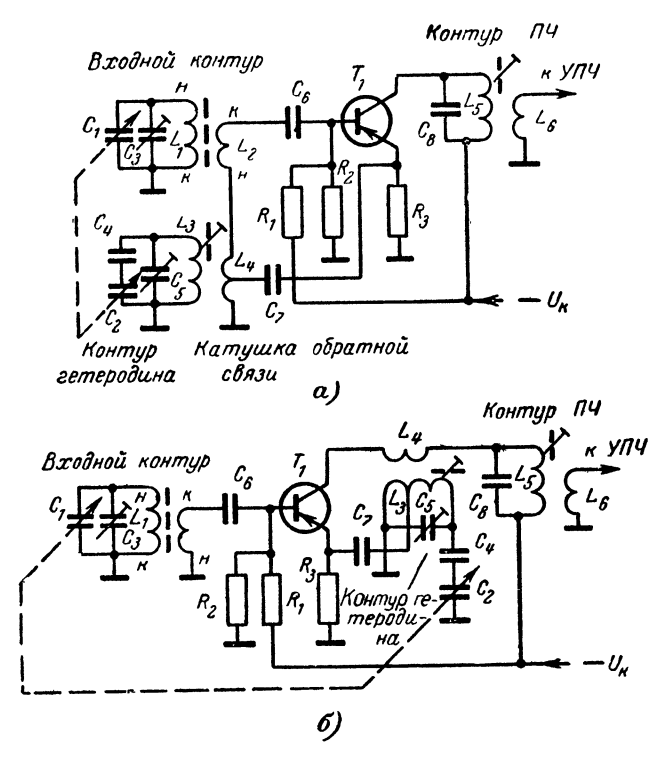


Рис. 62. Схемы преобразователя на одном транзисторе.

а — катушка обратной связи в цепи базы, *б* — катушка обратной связи в цепи коллектора.

ний, создаваемых громкоговорителем. Для устранения такой генерации надо разорвать акустическую связь между монтажной платой приемника и громкоговорителя.

Все монтажные соединения в преобразовательном каскаде, особенно в цепях эмиттера и базы транзистора, должны быть как можно более короткими.

Когда гетеродин налажен, т. е. получена устойчивая генерация на всех диапазонах, переходят к налаживанию смесительной части преобразователя. Практически налаживание смесителя после

установления заданного режима работы ламп сводится к проверке монтажа и устранению изредка возникающей паразитной генерации, причем методы борьбы с ней те же, что и в усилителях промежуточной частоты. Заметим, что иногда паразитная генерация в начале средневолнового или конце длинноволнового диапазонов вызывается тем, что входные контуры этих диапазонов из-за неправильной настройки оказываются настроенными слишком близко к промежуточной частоте.

Перейдем теперь к настройке контуров гетеродина. Практически используются два метода сопряжения: метод трех частот и метод двух частот.

При настройке по методу трех частот за основу берутся частоты точного сопряжения $f_н$, $f_{ср}$ и $f_в$. Параметры контура гетеродина (емкости $C_{пар}$, $C_{пос}$ и индуктивность гетеродинного контура $L_г$) подбирают методом последовательного приближения. Эта методика получения сопряжения удобна тем, что не требует предварительного точного знания и измерения параметров гетеродинного контура. Однако при этом необходима предварительная точная настройка входных высокочастотных контуров.

При использовании второго метода сопряжения принимается за основу емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ и две частоты точного сопряжения: $f_в$ и $f_н$. При этом методе последовательным приближением подбирают емкость конденсатора $C_{пар}$ и индуктивность контура $L_г$. Сопряжение на частоте $f_{ср}$ при этом получается «автоматически». При таком методе сопряжения не требуется предварительная настройка входных контуров, ибо настройка их может быть осуществлена после настройки гетеродинного контура и даже при приеме радиостанций, но необходимо точное знание емкости сопрягающего конденсатора $C_{пос}$, причем разброс емкостей этого конденсатора, установленного в схему гетеродина, не должен превышать $\pm 3 \div 5\%$, иначе сопряжение на частоте $f_{ср}$ не получится. Поэтому сопряжение по методу двух частот можно рекомендовать только при настройке заводского приемника или приемника, собранного по хорошо разработанной и проверенной конструкции. Следует помнить, что выбор емкостей сопрягающих конденсаторов зависит от схемы их включения в контур гетеродина, от значения промежуточной частоты, границ диапазона, типа сопряжения, данных конденсаторов настройки, емкости монтажа, собственной емкости катушек и входной емкости лампы гетеродина. Если хоть один из этих параметров изменился или в повторяемой конструкции сделаны отступления от описания или монтажной схемы образца, то рекомендуемая емкость конденсатора $C_{пос}$ уже должна быть другой, и, следовательно, нельзя применять сопряжение по методу двух частот, а надо настроить преобразователь по методу трех частот.

Метод трех частот. Сопрягающий конденсатор $C_{пар}$ оказывает наибольшее влияние на высокочастотном конце диапазона, поэтому с его помощью настраивают приемник на этом конце диапазона. При помощи конденсатора $C_{пос}$ настраивают приемник на низкочастотном конце диапазона. Наконец, изменяя индуктивность гетеродинного контура при помощи подстроечного сердечника, добиваются точного сопряжения в середине диапазона.

Так как параметры всех трех элементов подстройки гетеродинного контура неизвестны, то необходимо вначале «уложить» в диапазон высокочастотные контуры, настраиваемые на частоту принимаемого сигнала.

Настройку начинают с высокочастотных контуров в цепи сетки смесительной лампы преобразователя (контур L_2C_2 в схеме на рис. 12). В качестве указателя настройки можно использовать высокочастотный ламповый вольтметр, присоединив его к аноду лампы смесителя. Если такой прибор у радиолюбителя отсутствует, можно к цепи управляющей сетки лампы смесителя подключить полупроводниковый детектор, соединив его с входом усилителя низкой частоты настраиваемого приемника (рис. 63). Заметим, что такой детектор вносит в высокочастотный контур дополнительную емкость порядка 5—15 *пф*. Поэтому настройку высокочастотного контура после отключения детектора придется корректировать.

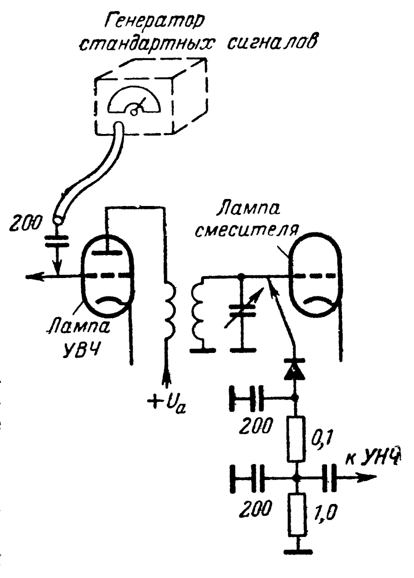


Рис. 63. Схема подключения вспомогательного детектора.

Если в приемнике нет усилителя высокой частоты, то генератор стандартных сигналов через эквивалент антенны (см. рис. 66) подключают непосредственно к входу приемника: при наличии усилителя высокой частоты — через емкость 200—500 *пф* к управляющей сетке лампы последнего каскада этого усилителя.

Вначале блок конденсаторов настройки устанавливают в положение максимальной емкости. Частота генератора при этом должна соответствовать минимальной частоте диапазона $f_{мин}$. Подстроечным сердечником настраивают по указателю настройки на эту частоту контур в цепи управляющей сетки смесительной лампы (в дальнейшем этот контур будем называть высокочастотным). После этого блок конденсаторов настройки переводят в положение минимальной емкости, а частоту генератора устанавливают равной максимальной частоте диапазона $f_{макс}$. Подстроечным конденсатором настраивают высокочастотный контур на эту частоту.

Таблица 12

Диапазоны	Емкость сопрягающего конденсатора $C_{пар}$, *пф*, при сопряжении типа			Емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$, *пф*, при сопряжении типа		
	Б	В	Г	Б	В	Г
ДВ	40	35	68	200	260	240
СВ	15	10	20	500	600	560
КВ	—	—	—	4 000	4 500	4 300

Настройку высокочастотного контура на крайние частоты диапазона повторяют несколько раз. Затем таким же способом настраивают высокочастотные контуры остальных диапазонов приемника.

По формулам сопряжения рассчитывают частоты точного сопряжения $f_в$, $f_{ср}$ и $f_н$, а затем переходят к настройке контуров гетеродина. Если емкости сопрягающих конденсаторов приблизительно известны[1], то эти конденсаторы следует поставить в контур гетеродина; тогда процесс настройки гетеродинного контура несколько упрощается. Если емкости сопрягающих конденсаторов неизвестны, то настройку контура гетеродина начинают без этих конденсаторов.

Вначале контур гетеродина настраивают на среднюю частоту диапазона. Для этого на генераторе стандартных сигналов устанавливают частоту точного сопряжения $f_{ср}$, и, вращая ручку настройки приемника, по индикатору, подключенному к аноду смесительной лампы, настраивают высокочастотный контур на эту частоту. Затем указатель настройки подключают к нагрузке детектора приемника (или к выходу усилителя низкой частоты приемника) и, вращая подстроечный сердечник катушки гетеродинного контура, настраивают этот контур по максимальным показаниям указателя настройки. Иными словами, добиваются настройки гетеродинного контура на частоту $f_г = f_{ср} + f_п$.

Настройку радиочастотного контура на низкочастотном конце диапазона производят аналогичным способом. Настройку же гетеродинного контура на этом конце диапазона осуществляют подбором сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ до получения максимального показания индикатора выхода. Так же поступают и при настройке высокочастотного контура на высокочастотном конце диапазона, а

---

[1] Ориентировочно емкость сопрягающих конденсаторов для различных типов сопряжения можно определить по табл. 12. Однако надо помнить, что в этой таблице емкости сопрягающих конденсаторов указаны для стандартных радиовещательных диапазонов, промежуточной частоты 465 *кгц* и стандартного блока конденсаторов переменной емкости (15—500 *пф*). Кроме того, табл. 12 предполагает схему включения конденсаторов, показанную на рис. 64. Емкость подстроечного конденсатора, включенного параллельно $C_{пар}$, изменяется в пределах 5—25 *пф*.

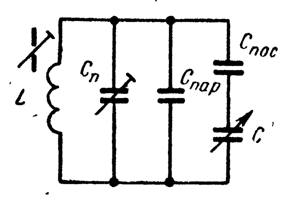


Рис. 64. Схема контура гетеродина с сопрягающими конденсаторами.

Более точно емкость сопрягающих конденсаторов $C_{пос}$ и $C_{пар}$, необходимую для сопряжения типа Б, можно рассчитать по номограммам, приведенным в «Справочнике радиолюбителя» под общей редакцией А. А. Куликовского, Госэнергоиздат, 1955. Емкость сопрягающих конденсаторов, необходимую для сопряжения типа Г, можно рассчитать по номограммам и формулам, имеющимся в «Справочнике радиолюбителя» под общей редакцией А. А. Куликовского, Госэнергоиздат, 1958. Емкость сопрягающих конденсаторов для сопряжения типа В можно рассчитать по номограммам, приведенным в книге Н. В. Боброва «Радиоприемные устройства», Госэнергоиздат», 1958.

настройку гетеродинного контура производят подбором емкости конденсатора $C_{пар}$, причем подстроечный конденсатор гетеродинного контура должен находиться в среднем положении.

Таким методом уже при первой настройке будет найдена приблизительно нужная емкость сопрягающих конденсаторов и индуктивность катушки гетеродинного контура. Уточняют настройку этих элементов в том же порядке: сначала на частоте $f_{ср}$ подстраивают индуктивность катушки, затем на частоте $f_н$ подбирают емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$, а на частоте $f_в$ — емкость конденсатора $C_{пар}$ (подстроечным конденсатором). Настройку уточняют несколько раз, пока не перестанет изменяться емкость сопрягающих конденсаторов и индуктивность катушки. Чем ближе первоначальная емкость сопрягающих конденсаторов к необходимой, тем скорее будет закончен процесс уточнения настройки.

Когда сопряжение настройки гетеродинного контура с контуром в цепи сетки смесительной лампы получено, приступают к настройке остальных высокочастотных контуров данного диапазона: входного контура и контуров усилителя высокой частоты. Для этого генератор стандартных сигналов через эквивалент антенны подключают к входу приемника. На шкале генератора устанавливают частоту точного сопряжения в низкочастотном конце диапазона. Приемник настраивают на эту частоту ручкой настройки. Затем подстроечным сердечником настраивают на нее входной контур и другие не настроенные ранее высокочастотные контуры данного диапазона. Далее генератор стандартных сигналов и приемник перестраивают на частоту точного напряжения в высокочастотном конце диапазона и настраивают на нее контуры подстроечным конденсатором. Настройку контуров в концах диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение сердечников и подстроечных конденсаторов.

При многокаскадном усилителе высокой частоты и очень расстроенных высокочастотных контурах настройку удобнее производить, подавая сигнал от высокочастотного генератора последовательно на управляющие сетки ламп усилителя, начиная с лампы последнего каскада и заканчивая входным контуром.

Перейдем теперь к сопряжению по **методу двух частот**. При этом методе, как уже говорилось, за основу берется частота точного сопряжения $f_в$ и по ней подбирается емкость сопрягающего конденсатора $C_{пар}$, а также частота точного сопряжения $f_н$, на которую гетеродинный контур настраивают подстроечным сердечником катушки индуктивности. Если емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ выбрана правильно, то в середине диапазона сопряжение получается «автоматически». Возможны два варианта сопряжения по методу двух частот.

Первый применяется, когда известно положение частот точного сопряжения $f_н$ и $f_в$ на шкале приемника. Это может быть при настройке приемников заводского изготовления, на шкале которых отмечено положение частот точного сопряжения, а также при подстройке приемников, ранее настроенных по методу трех частот. Наконец, этот же метод может применяться при сопряжении типа В, так как положение частот точного сопряжения в этом случае совпадает с граничными частотами диапазона $f_{мин}$ и $f_{макс}$. При настройке по этому варианту сначала производят сопряжение на низкочастотном конце диапазона. Для этого на вход смесителя от генератора подают сигнал на частоте точного сопряжения на низко-

частотном конце диапазона. Указатель шкалы приемника устанавливают на соответствующую риску, отмечающую частоту точного сопряжения, и регулировкой положения подстроечного сердечника катушки гетеродинного контура добиваются максимальных показаний указателя настройки. Затем генератор стандартных сигналов подключают к входу приемника и подстроечными сердечниками по максимальному показанию указателя настройки подстраивают высокочастотные контуры, уменьшая по мере надобности напряжение на выходе генератора.

Теперь переходим к сопряжению на высокочастотном конце диапазона. Указатель шкалы приемника совмещают с соответствующей риской, указывающей частоту точного сопряжения f_B, генератор подключают к входу смесителя и настраивают его также на частоту f_B. Затем регулировкой подстроечного конденсатора гетеродинного контура добиваются максимальных показаний на выходе приемника.

После этого генератор стандартных сигналов подключают к входу приемника и подстроечными конденсаторами по индикатору выхода настраивают высокочастотные контуры.

Настройку контуров на низкочастотном и высокочастотном концах диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечных конденсаторов и сердечников, причем настройку ведут со входа приемника, т. е. для настройки гетеродинных контуров генератор оставляют включенным на входе приемника.

Если положение частот точного сопряжения на шкале приемника неизвестно, то настройку ведут в несколько иной последовательности. Начинают с установки границ диапазона. Для этого на вход смесителя от генератора стандартных сигналов подают сигнал на минимальной частоте диапазона. Конденсаторы блока настройки приемника устанавливают в положение максимальной емкости и регулировкой положения сердечника катушки гетеродинного контура добиваются максимальных показаний индикатора настройки на выходе приемника. Затем конденсаторы блока настройки переводят в положение минимальной емкости, а генератор перестраивают на максимальную частоту диапазона и настраивают гетеродинный контур регулировкой подстроечного конденсатора по максимальным показаниям индикатора выхода.

Настройку гетеродинного контура на крайние частоты диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечного конденсатора и сердечника гетеродинного контура.

Когда диапазон гетеродинного контура «уложен», можно переходить к сопряжению его с настройкой высокочастотных контуров. Всю операцию сопряжения производят так же, как при настройке по первому варианту метода двух частот, только вначале устанавливают частоту точного сопряжения на генераторе стандартных сигналов и на эту частоту приемник настраивают по максимальным показаниям индикатора выхода. Вначале добиваются сопряжения на низкочастотном конце диапазона, а затем на высокочастотном.

После настройки контуров по методу двух частот надо проверить качество сопряжения, т. е. убедиться, что третья точка точного сопряжения (в середине диапазона) получилась на нужной частоте и в нужном месте шкалы приемника. Для такой проверки на вход приемника от генератора стандартных сигналов подают сигнал с час-

тотой точного сопряжения $f_{ср}$. Затем на эту частоту настраивают приемник по максимальным показаниям указателя настройки. Далее надо выяснить, настроены ли входные контуры на эту частоту или имеется расстройка входных контуров относительно частоты точного сопряжения (и как следствие — потеря чувствительности приемника). Чтобы определить расстройку, к катушке высокочастотного контура поочередно подносят медный и ферритовый стержни (медный стержень уменьшает индуктивность катушки, ферритовый — увеличивает). Если громкость сигнала или отклонения индикатора выхода в обоих случаях уменьшается, то на данной частоте имеется точное сопряжение.

Если же при поднесении, например, ферритового стержня показания индикатора выхода приемника увеличились, то это означает, что разность $f_г - f_{вх}$ (см. рис. 21) приблизилась к промежуточной частоте. Но при поднесении ферритового стержня частота катушки уменьшается, а разность $f_г - f_{вх}$ увеличивается. Следовательно, кривая сопряжения располагается в данной точке шкалы ниже линии промежуточной частоты, и частота точного сопряжения расположена от этой точки ближе к высокочастотному концу диапазона. И наоборот, если показания индикатора выхода увеличиваются при поднесении к входному контуру медного стержня, то частота точного сопряжения расположена от данной точки шкалы ближе к низкочастотному концу диапазона.

Наконец, если при проверке сопряжения в середине диапазона окажется, что на одной частоте показания индикатора выхода увеличиваются при поднесении к высокочастотному контуру медного стержня, а на другой частоте — ферритового, то частота точного сопряжения находится между этими частотами.

Отклонение частоты точного сопряжения от расчетной означает, что при сопряжении была допущена ошибка: неправильно выбрана емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$ или неправильно выбраны частоты точного сопряжения.

О том, как надо изменить емкость сопрягающего конденсатора $C_{пос}$, можно судить по тому, в какую сторону сдвинута частота точного сопряжения от расчетной. Если при проверке сопряжения в середине диапазона окажется, что точка точного сопряжения сдвинута к низкочастотному концу диапазона, то емкость конденсатора $C_{пос}$ надо уменьшить. Если же частота точного сопряжения окажется сдвинутой к высокочастотному концу диапазона, то емкость этого конденсатора надо увеличить

Однако прежде чем изменять емкость сопрягающего конденсатора, надо убедиться, что правильно выбраны частоты точного сопряжения, т. е. правильно выбран тип сопряжения. Для этого надо снять кривую сопряжения. Кстати, снятие и анализ этой кривой являются заключительным этапом при настройке приемника и по трем частотам.

Снимают кривую сопряжения следующим образом. Находят отклонение кривой сопряжения от промежуточной частоты для 15—20 точек данного диапазона (например, через каждые 10° шкалы приемника) и строят по этим точкам кривую сопряжения. По горизонтальной оси откладывают градусы шкалы и соответствующие им частоты, а по вертикальной оси откладывают разность между настройкой приемника (т. е. частотой, определяемой настройкой гетеродинных контуров) и настройкой высокочастотных контуров для данной точки шкалы. Делается это так. Генератор стандарт-

ных сигналов включают на вход приемника через эквивалент антенны. Вращая ручку настройки приемника, устанавливают указатель шкалы на определенное деление и генератор настраивают на эту частоту по максимальному отклонению стрелки индикатора выхода приемника. Затем по шкале генератора определяют частоту f_c, на которую настроен приемник, и отмечают ее на горизонтальной оси графика против соответствующего градуса шкалы приемника.

После этого усилитель низкой частоты через вспомогательный детектор (см. стр. 115) подключают к сеточной цепи смесительной лампы или в анодную цепь этой лампы включают высокочастотный индикатор (ламповый вольтметр). Изменяя частоту генератора, по индикатору находят резонансную частоту высокочастотных контуров $f_{вх}$ для данной точки шкалы (не изменяя настройки приемника). Разность между найденными частотами $f_c - f_{вх}$ откладывают в зависимости от ее знака вверх или вниз от линии промежуточной частоты. Полученные точки соединяют плавной кривой. Заметим, что разность $f_c - f_{вх}$ невелика, поэтому ее надо отсчитывать по нониусу ручки настройки генератора стандартных сигналов, предварительно определив цену его делений при данной настройке.

Далее на этот же график наносят границы допустимой погрешности сопряжения. Для этого через каждые 25—30° шкалы приемника определяют полосу пропускания высокочастотных контуров на уровне 0,7. Определить эту полосу можно следующим образом. Генератор стандартных сигналов настраивают на резонансную частоту входных контуров по индикатору в анодной цепи смесительной лампы; увеличивают выходное напряжение его в 2 раза и изменяют частоту (сначала в одну, а потом в другую сторону) таким образом, чтобы показания указателя настройки приемника уменьшились до прежнего уровня. Разность между полученной и резонансной частотами высокочастотных контуров при расстройке генератора стандартных сигналов в одну сторону от резонансной частоты входных контуров плюс разность между полученной частотой и резонансной частотой высокочастотных контуров при расстройке генератора в другую сторону равна полосе пропускания высокочастотных контуров. При амплитудной модуляции полоса частот составляет 10 *кгц*, поэтому, отложив на графике от промежуточной частоты величину допустимой погрешности для измеренных точек шкалы приемника соответственно вверх $\Delta f_д = f_{ГСС} - f_{вх} - 5$ *кгц* (при расстройке генератора стандартных сигналов (ГСС) выше резонансной частоты высокочастотных контуров) и вниз $\Delta f_д = f_{вх} - f_{ГСС} -$ 5 *кгц* (при расстройке генератора стандартных сигналов ниже резонансной частоты высокочастотных контуров) и соединив полученные точки плавной кривой, получим границы допустимой погрешности сопряжения.

Если кривая сопряжения не выходит за пределы допустимой погрешности, то сопряжение хорошее. При плохом сопряжении возможны следующие случаи.

Если на одном конце диапазона погрешность сопряжения выходит за допустимые границы, а погрешность в середине диапазона не доходит до них, то частоту точного сопряжения на данном конце диапазона ($f_н$ или $f_в$) следует изменить, передвинув ближе к концу диапазона.

Наоборот, если погрешность в середине диапазона выходит за допустимые границы, а на концах диапазона не доходит до них, то частоты точного сопряжения на концах диапазона надо передвинуть дальше от концов, т. е. ближе к середине диапазона

Может случиться, что погрешность на конце и в середине одной половины диапазона выходит за допустимые границы, а на другой половине не доходит до них В этом случае частоту точного сопряжения в середине диапазона следует передвинуть ближе к той части, на которой погрешность выходит за допустимые границы.

Наконец, если погрешность сопряжения на обеих частях диапазона выходит за допустимые границы, то необходимо расширить полосу пропускания высокочастотных контуров. Для этого надо уменьшить их добротность путем шунтирования резисторами сопротивлением 20—100 *ком*.

Но заметим, что передвинуть частоты точного сопряжения — это значит изменить тип сопряжения. Таким образом, анализируя ход кривой сопряжения, можно судить о том, правильно ли выбран тип сопряжения и вносить соответствующие коррективы.

Итак, мы рассмотрели различные методы настройки контуров при сопряжении на трех частотах. Однако получить точное сопряжение в трех точках диапазона не всегда обязательно. На полурастянутых диапазонах часто применяют сопряжение в двух точках при помощи только одного сопрягающего конденсатора $C_{пар}$. Дело в том, что полоса пропускания высокочастотных контуров на коротковолновом диапазоне достаточно широка, и хотя при сопряжении в двух точках отклонение кривой сопряжения от промежуточной частоты больше, чем при сопряжении в трех точках, результаты получаются удовлетворительными.

При этом за основу берутся частоты точного сопряжения, рассчитанные по формуле на стр. 40. Емкость сопрягаемого конденсатора $C_{пар}$ и индуктивность гетеродинного контура $L_г$ подбирают при настройке.

Методика сопряжения такая же, как при сопряжении по методу двух частот. Рассмотрим сначала случай, когда известно положение частот точного сопряжения на шкале приемника. Вначале указатель шкалы приемника совмещают с риской на шкале, соответствующей частоте $f_н$. На вход приемника подают от генератора сигнал той же частоты и настраивают гетеродинный контур подстроечным сердечником по максимальному показанию индикатора выхода приемника. Затем подстроечным сердечником на эту же частоту настраивают входной контур. Далее указатель шкалы приемника переводят на отметку частоты точного сопряжения на высокочастотном конце диапазона $f_в$. На вход приемника подают сигнал той же частоты и по максимальному показанию индикатора выхода приемника настраивают гетеродинный контур подстроечным конденсатором. После этого подстроечным конденсатором настраивают по индикатору выхода высокочастотный контур. Сопряжение контура на низкочастотном и высокочастотном концах диапазона повторяют несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечных конденсаторов и сердечников.

Если положение частот точного сопряжения неизвестно на шкале приемника, то вначале надо установить границы диапазона. Для этого на вход приемника подают сигнал на минимальной частоте диапазона $f_{мин}$; конденсаторы блока настройки устанавливают в положение максимальной емкости и настраивают гетеродинный кон-

тур подстроечным сердечником по максимальному показанию индикатора выхода приемника. Затем таким же способом настраивают гетеродинный контур на максимальную частоту диапазона, но уже при помощи подстроечного конденсатора. Настройку на низкочастотном и высокочастотном концах диапазона повторяют несколько раз.

Теперь на вход приемника от генератора стандартных сигналов подают сигнал на частоте точного сопряжения на низкочастотном конце диапазона и настраивают на эту частоту приемник ручкой блока конденсаторов переменной емкости. Затем подстроечным сердечником подстраивают на эту частоту высокочастотный контур по максимальным показаниям указателя настройки приемника. После

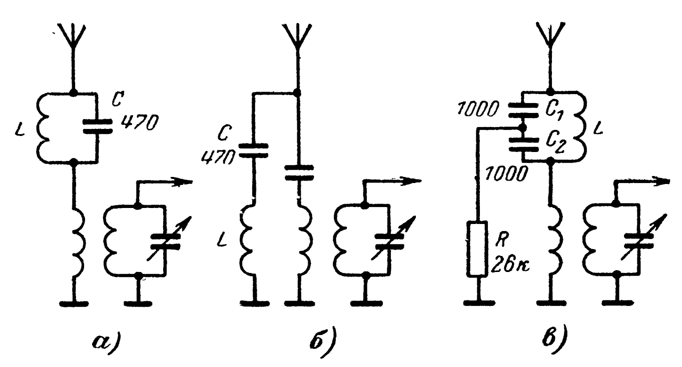


Рис. 65. Схемы фильтров промежуточной частоты, включаемых на входе приемника.

а — простой заграждающий фильтр-пробка; *б* — отсасывающий фильтр; *в* — сложный заграждающий фильтр.

этого перестраивают генератор на частоту точного сопряжения на высокочастотном конце диапазона, настраивают на эту частоту приемник и подстраивают входной контур подстроечным конденсатором. Указанную настройку на частоты точного сопряжения на высокочастотном и низкочастотном концах диапазона производят несколько раз, пока не перестанет изменяться положение подстроечного конденсатора и сердечника входного контура.

На растянутых коротковолновых диапазонах применяют сопряжение только в середине диапазона без сопрягающих конденсаторов. Настройку производят следующим образом. На вход приемника подают сигнал на средней частоте диапазона, а указатель шкалы приемника устанавливают на середину шкалы. Гетеродинный контур настраивают по индикатору выхода приемника подстроечным сердечником катушки индуктивности или подстроечным конденсатором. Затем на эту же среднюю частоту диапазона по максимальным показаниям индикатора выхода настраивают высокочастотные контуры

Антенный фильтр. На входе супергетеродинного приемника часто включают специальный фильтр, предназначенный для защиты от сигналов с частотой, равной промежуточной частоте приемника.

Такой фильтр может быть собран по одной из схем, приведенных иа рис. 65. В схеме на рис. 65, *а* контур *LC* настроен на промежуточную частоту, имеет на этой частоте наибольшее сопротивление, и поэтому сигналы с промежуточной частотой поступают на вход приемника значительно ослабленными.

В схеме, показанной на рис. 65, *б*, наоборот, контур *LC* на промежуточной частоте имеет наименьшее сопротивление и поэтому блокирует вход приемника по промежуточной частоте.

Оба фильтра настраиваются одинаковым способом. Генератор стандартных сигналов, настроенный на промежуточную частоту, через эквивалент антенны подключают к входу приемника. Вращая подстроечный сердечник катушки индуктивности антенного фильтра и увеличивая по мере надобности выходное напряжение генератора, добиваются минимальных показаний индикатора выхода приемника.

Значительно лучшие результаты дает фильтр, схема которого показана на рис. 65,*в*. Напряжение промежуточной частоты, действующее в этой схеме на входе приемника, равно сумме напряжений на конденсаторе C_2 и резисторе *R*. На резонансной частоте фильтра, которая равна промежуточной частоте, эти напряжения противоположны по фазе. Соответствующим подбором сопротивления резистора *R* можно добиться равенства этих напряжений по абсолютной величине и тем самым полностью подавить помеху на промежуточной частоте. На частотах же, отличных от промежуточных, взаимной компенсации напряжения не происходит, и эти частоты проходят через фильтр почти без ослабления.

Настройку такого фильтра на промежуточную частоту вначале производят без резистора по минимуму показаний индикатора выхода приемника. Затем вместо резистора *R* включают переменный резистор и, регулируя его сопротивление, добиваются исчезновения сигнала промежуточной частоты, т. е. минимальных показаний индикатора выхода. Измерив полученное сопротивление переменного резистора, устанавливают в схему постоянный резистор с нужным сопротивлением и еще раз подстраивают контур фильтра сердечником катушки индуктивности. Заметим, что чем выше добротность катушки контура, тем больше необходимое сопротивление резистора *R*. В первых двух фильтрах (рис. 65, *а* и *б*) выгодно применять контуры как можно более высокой добротности, в последнем же (рис. 65, *в*) существует оптимальная величина добротности. При добротиости, большей этой оптимальной величины, полоса заграждения фильтра получается уже полосы пропускания усилителя промежуточной частоты, и помехи через такой фильтр будут проходить.

ЭКЗАМЕН СУПЕРГЕТЕРОДИНУ

После окончания настройки приемника надо измерить его чувствительность и избирательность. Это будет как бы «экзамен» приемнику, а вернее — вашей работе, потому что эти измерения покажут, насколько правильно вы наладили и настроили приемник, обладает ли он теми параметрами, которые вы надеялись получить.

Ранее уже говорилось, что надо измерять реальную чувствительность приемника, учитывать уровень шумов. Поэтому перед измерением чувствительности надо определить уровень собственных шумов приемника. Для этого регулятор громкости усилителя низкой частоты приемника устанавливают на максимальное усиление. На

вход приемника через эквивалент антенны (рис 66) подают от генератора стандартных сигналов высокочастотные колебания, модулированные частотой 400 *гц* с глубиной модуляции 30%. Приемник настраивают, и напряжение на выходе генератора устанавливают таким, чтобы напряжение на выходе приемника, измеренное диодным вольтметром, равнялось нормальному (см. стр. 82). Затем выключают модуляцию высокочастотного сигнала и измеряют напряжение на выходе приемника, т. е. измеряют напряжение шумов приемника при приеме несущей. Такие измерения производят на каждом диапазоне в одной или нескольких точках шкалы. Величину шума выражают в децибелах по отношению к нормальному выходному напряжению.

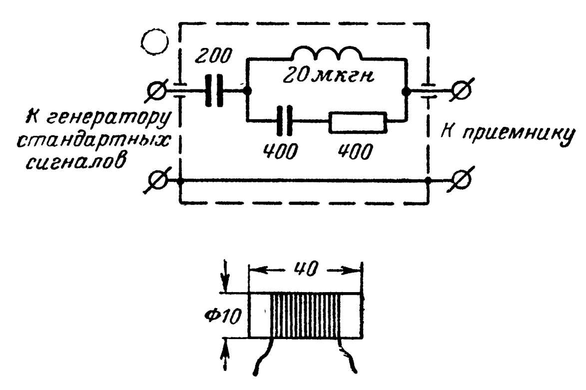


Рис. 66. Эквивалент антенны.
(катушка содержит 60 витков ПЭЛ 0,25)

После этого измеряют чувствительность приемника. Генератор стандартных сигналов настраивают на нужную частоту. Напряжение его должно быть модулировано сигналом с частотой 400 *гц* при глубине модуляции 30%. Приемник настраивают на частоту генератора по максимальному показанию указателя настройки, т. е. диодного вольтметра, включенного на выходе усилителя низкой частоты. Если измеренное ранее напряжение шумов меньше его нормального выходного напряжения по крайней мере в 10 раз (на 20 *дб*), то чувствительность определяют следующим образом. Регулятор громкости приемника устанавливают на максимальное усиление, а напряжение на выходе генератора подбирают таким, чтобы напряжение на выходе приемника стало равным нормальному. При этом напряжение на выходе генератора (у генераторов стандартных сигналов заводского изготовления его можно определить по положению ручек выходного делителя) численно будет равно чувствительности приемника на данной частоте. Измерение производят по крайней мере в трех точках каждого диапазона, но не на частотах точного сопряжения (чтобы оценить качество сопряжения).

Если же нормальное выходное напряжение приемника меньше чем в 10 раз превышает уровень шумов, то чувствительность измеряют несколько иначе. В этом случае после настройки приемника на частоту генератора выключают модуляцию высокочастотных колеба-

ний и регулятором громкости устанавливают напряжение шумов на выходе приемника таким, чтобы оно было меньше нормального выходного напряжения в 10 раз. Затем включают модуляцию генератора и подбирают такое напряжение на его выходе, при котором напряжение на выходе приемника равнялось бы нормальному. Регулятор громкости приемника при этом не трогают. Напряжение на выходе генератора будет численно равно чувствительности приемника с учетом его шумов.

При измерении чувствительности регулятор тембра, если он есть в приемнике, должен стоять в положении, соответствующем ослаб-

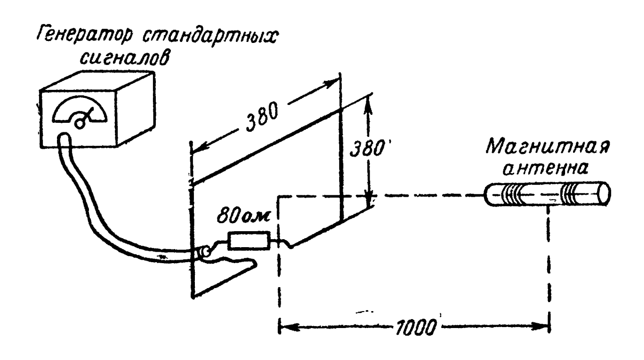


Рис. 67. Схема создания стандартной напряженности поля при измерении чувствительности приемника с магнитной антенной.

ленному воспроизведению высоких и низких звуковых частот. АРУ приемника должно быть выключено.

Если приемник предназначен для работы с внутренней магнитной антенной, то его связь с генератором осуществляется при помощи квадратной рамки из медного или латунного прутка диаметром 4 *мм* (рис. 67). В этом случае чувствительность приемника выражается в *мкв/м* или *мв/м*.

Перейдем к измерению избирательности. Вы знаете, что избирательность характеризует уменьшение чувствительности приемника на какой-либо частоте по сравнению с чувствительностью на частоте настройки. Поэтому измерение избирательности производят по тем же схемам, что и измерение чувствительности, да и приемы измерений те же самые. В связи с этим измерения чувствительности и избирательности практически производят одно за другим: измерили чувствительность на какой-либо частоте и тут же, не перестраивая приемник и не изменяя схемы подключения приборов, приступают к измерению избирательности.

Начнем с измерения избирательности по соседнему каналу. Вначале, как обычно, измеряют чувствительность приемника, а затем изменяют частоту генератора на 10 *кгц*, например в сторону уменьшения, и подбирают такое выходное напряжение генератора, при котором напряжение на выходе приемника вновь становится равным нормальному, т. е. измеряют чувствительность приемника при часто-

те расстройки 10 *кгц*. Отношение этой чувствительности к чувствительности приемника на резонансной частоте, выраженное в децибелах, даст величину ослабления приема по соседнему каналу.

После этого частоту генератора увеличивают на 10 *кгц* относительно резонансной частоты приемника и производят те же измерения. Окончательно за величину избирательности по соседнему каналу принимают наименьший результат.

Затем переходят к измерению избирательности по зеркальному каналу, причем измерения производятся точно так же, за исключением того, что генератор настраивают на частоту, которая выше резонансной частоты приемника на двойную промежуточную. Чувствительность по зеркальному каналу обычно измеряют при тех же настройках приемника, что и избирательность по соседнему каналу. При этом следует иметь в виду, что наихудшая избирательность по зеркальному каналу будет в коротковолновой части диапазона

Для измерения избирательности на частоте, равной промежуточной, приемник настраивают на частоту, наиболее близкую к промежуточной: на крайнюю верхнюю частоту длинноволнового диапазона или крайнюю нижнюю частоту средневолнового диапазона. Измерение же избирательности ничем не отличается от предыдущего.

После настройки приемника можно также проверить эффективность работы АРУ. Как вы знаете, характеристика работы АРУ представляет собой зависимость выходного напряжения приемника от входного. Снимают эту характеристику следующим образом. На вход приемника через эквивалент антенны подают от генератора высокочастотное напряжение такой величины $U_{вх1}$, чтобы напряжение на выходе приемника было равно 0,25 нормального при среднем положении регулятора громкости. Напряжение генератора должно быть, как и раньше, модулировано сигналом частоты 400 *гц*. Приемник настраивают в резонанс с частотой генератора и замечают показания указателя настройки на выходе приемника $U_{вых1}$. Затем изменяют выходное напряжение генератора в 2, 3, 4, 10, 20, 100, 500, 1 000, 5 000 и 10 000 раз, одновременно отмечая показания указателя настройки. По полученной зависимости выходного напряжения от входного строят характеристику АРУ. Работу АРУ характеризуют отношением

$$\frac{U_{вых1} - U_{вых2}}{U_{вх1} - U_{вх2}},$$

где $U_{вх2}$ и $U_{вых2}$ — пороговые значения соответственно входного и выходного напряжений, при которых АРУ начинает действовать.

Это отношение выражают в децибелах. Работу АРУ проверяют на каждом диапазоне.

А ЕСЛИ НЕТ ГЕНЕРАТОРА СТАНДАРТНЫХ СИГНАЛОВ?

Принципиально настройка супергетеродинного приемника без помощи генератора стандартных сигналов не отличается от описанного выше метода настройки. Порядок налаживания, приемы настройки контуров остаются прежними.

Отличие заключается в том, что в этом случае у радиолюбителя нет градуированного источника частоты. Поэтому настройку приемника приходится вести во время приема радиостанции. Это очень затрудняет настройку, удлиняет ее и редко позволяет настроить

приемник так же хорошо, как при наличии генератора. Но все же настроить приемник можно, а если не торопиться и тщательно соблюдать рекомендуемые правила налаживания, то можно получить и неплохие результаты.

Как обычно, настройку начинают с контуров промежуточной частоты. Следует заметить, что настройка этих контуров значительно облегчится, если в приемнике применены заводские трансформаторы промежуточной частоты, примерно настроенные на 465 *кгц*.

Так как отсутствует источник сигнала промежуточной частоты, то надо получить ее в самом приемнике Для этого надо принять какую-либо радиостанцию. Ее частота образует биения с частотой гетеродина, и если частота этих биений будет близка к промежуточной, то они пройдут через усилитель промежуточной частоты, и радиостанция будет услышана в громкоговорителе приемника. Но для приема радиостанции должны работать все каскады приемника, включая гетеродин и смеситель. Поэтому перед настройкой контуров промежуточной частоты надо добиться устойчивой работы гетеродина, как об этом было рассказано выше.

Принять радиостанцию чаще всего удается на коротковолновом поддиапазоне, так как на нем меньше всего сказывается расстройка входных контуров по отношению к контурам гетеродина. Подстроечные сердечники контуров промежуточной частоты при этом должны быть установлены в среднее положение.

Когда радиостанция принята, вращением сердечника последнего контура промежуточной частоты L_4C_4 (см. рис. 59) добиваются максимальной громкости приема, причем процесс настройки ничем не отличается от процесса настройки этого же контура с применением генератора стандартных сигналов. По мере настройки надо уменьшать громкость, а также амплитуду сигнала на входе приемника, для чего антенну присоединяют к входу приемника через переменный конденсатор емкостью 20—50 *пф*; емкость по мере надобности уменьшают.

После настройки контура L_4C_4 переходят к настройке контура L_2C_2 в цепи управляющей сетки лампы усилителя промежуточной частоты, а затем к настройке контура L_1C_1 в анодной цепи лампы преобразователя. После этого настройку усилителя промежуточной частоты можно считать законченной.

При очень сильной расстройке контуров промежуточной частоты прием радиостанции может отсутствовать. В этом случае надо исключить усилитель промежуточной частоты, включив контур L_3C_3 в анодную цепь лампы преобразователя вместо контура L_1C_1. Если это даст возможность принять радиостанцию, то надо настроить на максимальную громкость приема контур L_4C_4 в цепи детектора (не трогая анодного контура L_3C_3), а затем, восстановив схему, подстроить контур L_4C_4, после чего настроить сначала контур L_2C_2, а затем контур L_1C_1.

Очень большую помощь может оказать другой хорошо настроенный супергетеродинный приемник. Он не только облегчит настройку, но и даст возможность настроить контур промежуточной частоты именно на 465 *кгц*. В самом деле, при настройке контуров промежуточной частоты при приеме радиостанции мы настраиваем контуры не на частоту 465 *кгц*, а на ту частоту, на которую был случайно настроен контур L_3C_3 в анодной цепи лампы усилителя промежуточной частоты. На этой частоте могут оказаться помехи от близкой по частоте радиостанции; кроме того, переход на другую промежуточ-

ную частоту может вызвать изменение и других параметров приемника.

Настройка контуров промежуточной частоты при помощи другого радиоприемника с той же промежуточной частотой производится следующим образом. К приемнику-эталону подключают антенну и принимают на нем какую-либо хорошо слышимую радиостанцию, но желательно не местную, так как при приеме близко расположенной мощной радиостанции настройка приемника не будет острой и он перегружается. Напряжение промежуточной частоты с выхода усилителя промежуточной частоты приемника-эталона подают на управляющую сетку усилителя промежуточной частоты настраиваемого приемника. Таким образом, приемник-эталон используется при этом как источник промежуточной частоты. Далее настраивают трансформатор промежуточной частоты: сначала контур L_4C_4 (см. рис. 59), потом контур L_3C_3. После этого сигнал промежуточной частоты от приемника-эталона подают на управляющую сетку смесительной лампы-преобразователя и настраивают контуры L_2C_2 и L_1C_1.

После настройки контуров промежуточной частоты переходят к укладке частот гетеродина. Для этого присоединяют антенну к управляющей сетке смесительной части лампы преобразователя (чтобы исключить влияние ненастроенных входных контуров) и стараются принять радиостанции, расположенные на краях поддиапазонов, частоты которых известны. Сравнивая положение этих радиостанций на шкале приемника с тем положением, в котором они должны находиться при нужном перекрытии частот гетеродина, производят соответствующую регулировку контуров гетеродина так же, как об этом было рассказано выше. Эти операции значительно облегчаются, если имеется приемник-эталон. В этом случае нет необходимости знать частоты радиостанций: достаточно сравнить положение их на шкале приемника-эталона с положением на шкале настраиваемого приемника, чтобы сделать заключение, как надо регулировать контур гетеродина.

После укладки частот гетеродина приступают к сопряжению входных контуров с контурами гетеродина. Антенну присоединяют ко входу радиоприемника и принимают радиостанции, расположенные ближе к краям поддиапазона. Процесс сопряжения ничем не отличается от описанного выше

Настроить антенный фильтр супергетеродинного приемника без применения генератора очень трудно. Можно попытаться это сделать таким образом: смонтировать антенный фильтр на небольшой панельке и включить его между выходом усилителя промежуточной частоты приемника-эталона и управляющей сеткой смесительной части лампы преобразователя настраиваемого приемника. Приняв на приемник-эталон хорошо слышимую радиостанцию, надо так настроить фильтр вращением сердечника его катушки, чтобы слышимость этой радиостанции в громкоговорителе настраиваемого приемника была минимальна. После этого антенный фильтр укрепляют на шасси приемника в предназначенном для него месте.

Вот и конец. Я рассказал вам о принципе супергетеродинного приема и о работе отдельных блоков приемника. Вы знаете теперь, как составить схему супергетеродина, от чего зависят его параметры, как наладить и настроить приемник. Но может быть вы что-нибудь не поняли? Тогда напишите по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10, Издательство «Энергия». Редакция «Массовой радиобиблиотеки».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Соболевский Анатолий Георгиевич

Я строю супергетеродин.

Редактор *Ю А Шумихин* Художественный редактор *Д И Чернышев*
Техн. редактор *В В Зеркаленкова* Корректор *Е В Кузнецова*

Сдано в набор 19/IX 1966 г. Подписано к печати 16/II 1967 г. Т-01773.
Формат 84×108[1]/32. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 6,72.
Уч. изд. л. 9,45. Тираж 150 000 экз. Цена 33 коп. Зак. 1253.

Издательство „Энергия", Москва, Ж-114, Шлюзовая наб. 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18 б.

Цена 38 коп.